

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ  
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: «Обґрунтування технології виробництва корпусної деталі на  
фрезерному верстаті з ЧПК»

Виконав: студент VI курсу групи Маш-62

Спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
(шифр і назва)

Андрій СЛИВКА  
(Ім'я та прізвище)

Керівник:

Сергій БАРАНОВИЧ  
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

д.т.н., професор Власовець В.М.

“28” квітня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу студенту

Сливці Андрію Івановичу

1. Тема роботи: «Обґрунтування технології виробництва корпусної деталі на фрезерному верстаті з ЧПК»

Керівник роботи: Баранович Сергій Миколайович, к.т.н., в.о. доцента

Затверджена наказом по університету від 28.04.2023 року № 133/к-с

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 15.01.2024 року

3. Вихідні дані: Літературні джерела за тематикою кваліфікаційної роботи відомих технологічних процесів виробництва типових деталей; матеріали навчальної, методичної довідкової та наукової літератури; методики визначення економічної ефективності впровадження нового технологічного рішення.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Аналіз стану виробництва корпусних деталей на верстатах з ЧПК;

2. Обґрунтування методів підвищення ефективності роботи на верстаті з ЧПК;

3. Підвищення ефективності виробництва деталей на верстатах з ЧПК;

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях;

5. Техніко-економічне обґрунтування вибору обладнання для виробництва деталі;

Висновки і пропозиції;

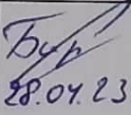
Бібліографічний список.



5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Ілюстративний матеріал представити у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint.

6. Консультанти розділів роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,5	Баранович С.М. к.т.н., в.о. доц. кафедри машинобудування	 28.04.23		Вик
4	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			Вик

7. Дата видачі завдання: 28.04.2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

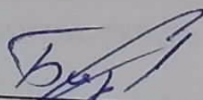
№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	Виконання розділу: «Аналіз стану виробництва корпусних деталей на верстатах з ЧПК»	28.04.23- 15.06.23	Вик
2.	Виконання другого розділу: «Обґрунтування методів підвищення ефективності роботи на верстаті з ЧПК»	16.06.23- 15.08.23	Вик
3.	Виконання розділу: «Підвищення ефективності виробництва деталей на верстатах з ЧПК»	16.08.23- 08.11.23	Вик
4.	Виконання розділу: «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	09.11.23- 11.12.23	Вик
5.	Виконання розділу: «Техніко-економічне обґрунтування вибору обладнання для виробництва деталі»	12.12.23- 3.01.24	Вик
6.	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому	4.01.24- 15.01.24	Вик

Студент

  
(підпис)

Андрій СЛИВКА

Керівник роботи

  
(підпис)

Сергій БАРАНОВИЧ

Обґрунтування технології виробництва корпусної деталі на фрезерному верстаті з ЧПК.

Сливка Андрій Іванович – Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024. 81с. текст. част., 17 рис., 3 табл., 18 джерел.

У даній кваліфікаційній роботі проаналізовано літературні джерела та здійснено огляд існуючих металорізальних верстатів, що застосовуються для виготовлення деталей різної конфігурації. Наведено верстати з ЧПК і принцип їх роботи.

Проведені дослідження для визначення ефективності виготовлення деталі на верстатах з ручним та числовим програмним керуванням.

В розділі охорони праці проаналізовано аварійні і травматичні ситуації, які можуть виникнути під час роботи на металорізальних верстатах на підприємствах. Розглянуто заходи щодо захисту населення в надзвичайних ситуаціях.

В економічній частині даної роботи було проведено оцінку фінансової ефективності під час виготовлення однієї і тієї ж деталі на двох різних типах верстатів.



## ЗМІСТ

	ст.
Вступ	7
Розділ 1. Аналіз стану виробництва корпусних деталей на верстатах з ЧПК	9
1.1 Етапи процесу виробництва корпусних деталей на промислових верстатах з ЧПК	9
1.2 Технологічний етап програмування ЧПК	13
1.3 Аналіз і розрахунки програмування на верстатах з ЧПК	20
Розділ 2. Обґрунтування методів підвищення ефективності роботи на верстаті з ЧПК	26
2.1 Послідовність робіт на верстатах з ЧПК	26
2.2 Складання математичної моделі для технологічного процесу виготовлення деталі на верстаті з ЧПК	28
2.3 Процес виготовлення деталей на верстатах з ЧПК	31
2.3.1 Точність обробки на верстатах з ЧПК	34
2.3.2 Процес обробки заготовок на верстатах з ЧПК	37
2.4 Дослідження і контроль якості обробки заготовок та деталей на верстатах	44
2.5 Забезпечення якості виробництва на верстатах з ЧПК	46
Розділ 3. Підвищення ефективності виробництва деталей на верстатах з ЧПК	48
3.1 Особливості роботи на фрезерному верстаті з ЧПК	48
3.2 Обробка деталі на фрезерному верстаті ЧПК	50
3.3 Покращення якості обробки заготовок і деталей на фрезерному верстаті з ЧПК	51
3.4 Збільшення продуктивності роботи верстата з ЧПК	55
3.5 Програмування виготовлення корпусної деталі на верстаті з числовим програмним керуванням	59

Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	63
4.1 Обґрунтування можливих чинників травмонебезпечних ситуацій	63
4.2 Умови і обставини виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідки	65
4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	68
Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування вибору обладнання для виробництва деталі	76
Висновки та пропозиції	79
Бібліографічний список	80



## Вступ

На даний час, на різних виробництвах широкого використання набули верстати із числовим програмним керуванням (ЧПК або CNC), в сучасних умовах дрібносерійного виробництва випускається 70 - 75% деталей для машинобудівного використання та інших галузей виробництва.

Основною з причин нестабільного процесу під час різання є спрацювання в часі ріжучого інструмента, зміна його дійсних геометричних параметрів, геометричних параметрів обробки, витримування жорсткості різання оброблюваної площини деталі. Тому, застосування постійних умов і режимів обробки не можуть бути витримані під час усього процесу оброблювання деталі за нестабільних умов процесів різання інструментом.

Недолік існуючих методів обробки деталей створює складності у вирішенні завдання із покращення процесу виготовлення заготовок і деталей. Ці методи зумовлюють актуальність дослідження проблеми підвищення ефективності великого і дрібносерійного виробництва за умов експлуатації верстатів з ЧПК на виробництві.

Вирішення цього питання можливе за умови розроблення методів та алгоритмів вдосконалення процесів виготовлення заготовок і деталей на промислових верстатах з ЧПК, і є надзвичайно вагомим науково-прикладним процесом дослідження.

Метою проводжуваного дослідження є розробка алгоритмів і методів оптимізації і покращення ефективності виготовлення корпусних деталей на верстатах з ЧПК на виробництві.

Поставлена мета процесу виробництва потребує вирішення таких задач дослідження:

1. Аналіз технологічних процесів програмованого виготовлення корпусних деталей на верстатах з ЧПК;
2. Дослідження можливих технологічних процесів покращення ефективності виготовлення корпусних деталей на верстатах з числовим програмним керуванням;

3. Оптимізація технологічного процесу виготовлення корпусних деталей і покращення ефективності технології виготовлення корпусних деталей на верстатах з ЧПК вцілому;

4. Розробка методів і алгоритмів підвищення ефективності процесу виготовлення корпусних деталей на промислових верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК).

Об'єктом дослідження є системи управління процесом оброблення вхідної і вихідної інформації під час програмування процесів виготовлення корпусних деталей на промислових верстатах з числовим програмним керуванням.

Предметом дослідження в роботі є алгоритми і методи, програмні моделі, які дозволяють підвищити ефективність процесу виготовлення корпусних деталей на промислових верстатах з числовим програмним керуванням.



## **Розділ 1. Аналіз стану виробництва корпусних деталей на верстатах з ЧПК**

### **1.1. Етапи процесу виробництва корпусних деталей на промислових верстатах з ЧПК**

В багатосерійному виробництві застосовують переважно автомати різних типів, особливо верстатів з ЧПК, автоматизовані виробничі лінії. Дане виробниче обладнання споряджають відповідними пристосуваннями і інструментом для виробництва. Обладнання розміщують в послідовності виконання технологічного процесу виробництва. За виробничими робочими місцями на виробництві закріплюють певні технологічні операції.

Задані за робочими кресленнями і технологічними маршрутами виготовлення деталі зміни їх форми і розмірів виготовляють за допомогою виконавчих рухів верстата: основних робочих (головний рух деталі та рух механізмів подачі), допоміжних і додаткових рухів. Всі рухи на верстаті мають бути синхронізовані між собою. Необхідна узгодженість рухів, які виконують частини верстата досягається точною послідовністю керуючих команд – управляючою програмою.

В універсальних верстатах із ручним керуванням порядок команд виконання, а також команд для руху робочих елементів верстата, технологічну схему обробки деталі виконує оператор, вивчивши робочі креслення деталі та іншу технічну документацію. При необхідності обробки партії заготовок, оператор повторює постійно однакові елементарні технологічні операції. Оператор також повинен виміряти розміри деталі, звірювати отримані розміри та розмірами на робочому кресленні, виправляти виявлені неточності. Ефективність використання універсальних верстатів з ручним керуванням залежить від кваліфікації оператора. Дані верстати є ефективними за умови одиничного або дрібносерійного виробництва.

Для отримання виробів необхідних розмірів і форми, необхідне розміщення усіх елементів виробничої системи верстат-інструмент-пристрій-заготовка (деталь) повинні мати точні зв'язки між собою.

Згідно стандартів встановлено наступні показники точності:

- точність розмірів, забезпечення відстані між різними частинами деталі;
- відхилення від форми поверхні, тобто, невідповідність форми отриманої поверхні від такої яку необхідно забезпечити;
- відповідність розміщення поверхонь та осей деталей або заготовок, тобто розташування отриманого елемента відносно заданого розташування за робочим кресленням.

Посадки під розмір, задаються на збірних кресленнях, вони дають інформацію який тип з'єднань поверхонь які контактують, що дає змогу вибрати технологію збирання і розбирання вузлів.

Обробні центри з ЧПК є новітнім видом обладнання, хоча це не означає, якщо встановити будь-яку деталь на обробний центр з ЧПК, тоді це забезпечить значний економічний ефект. При виготовленні одних виробів ефективність буде значною, а в інших випадках ефект буде незначний, а іноді виробництво деталей на обробних центрах з ЧПК навіть може бути збитковим. Економічна ефективність впровадження обробних центрів з ЧПК визначається правильним підбором деталей. За умови наявності сучасних моделей обробних центрів з ЧПК, написання якісних управляючих програм, та висококваліфікованих кадрах, неможливо отримати високого техніко-економічного ефекту під час впровадження обробних центрів з ЧПК, якщо підбір деталей здійснено неправильно.

Для розробки теорії і практики експлуатації та ефективного керування обробними центрами з числовим програмуванням і розвитку систем програмного управління даного типу верстатами великий внесок здійснили вітчизняні та закордонні фахівці і вчені. За результатами проведених досліджень, основою сучасних верстатів (обробних центрів) є числове програмне керування засобами для досягнення високої точності та якості



виготовлених деталей. Вибір номенклатури виробів є одним з основних найбільш відповідальних етапів технологічної підготовки виробничих процесів за допомогою обробних центрів з ЧПК. Саме на даний час виникають передумови щоб отримати найбільший економічний ефект в результаті їх впровадження у виробництво. Одним з основних критеріїв вибору є ефективність виробництва виробів за умови ефективного застосування самих обробних центрів (верстатів).

Основні показники ефективності: зменшення собівартості виготовлення деталей, збільшення продуктивності обробки на верстатах, підвищення якості виконання деталі. В основному, до уваги беруть будь-який з цих параметрів, а також їх взаємне поєднання. При цьому вважається, що обробний центр (верстат) експлуатується з найбільшою можливою ефективністю, тобто по максимуму застосовують його технологічні та конструктивні властивості.

Виходячи із основних можливостей системи числового управління верстатом та причинно-наслідкових зв'язків, можна записати певні загальні положення, якими слід керуватися під час вибору деталей для обробки з застосуванням верстатів (обробних центрів) з ЧПК.

За умови більшої концентрації виробництва на верстаті (обробному центрі) з ЧПК відносно до виробництва на універсальному обладнанні, ефективність застосування систем числового керування краща. На звичайних універсальних верстатах, виготовлення деталей середньої складності нараховує близько 20-ти технологічних операцій. Кожна технологічна операція вимагає окремого верстата, спеціального оснащення, ріжучого інструменту та вимірювального обладнання, розроблення нової операційної карти виробництва. Після завершення кожної технологічної операції, заготовку слід знімати, та заново закріплювати на наступному верстаті, здійснювати необхідне налаштування і регулювання всіх необхідних вузлів верстата – це збільшує час виробництва деталей.

Верстати (обробні центри) з ЧПК, за технічними і технологічними можливостями, значно перевищують характеристики універсальних верстатів,

що забезпечує зосередження обробки на одній, або декількох технологічних операціях. Величину концентрації обробки за умови заміни універсального верстату на обробний центр з ЧПК визначимо за допомогою використання коефіцієнта ефективності. Запишемо коефіцієнт ефективності як відношення числа операцій деякого стандартного виду обробки до числа операцій виконання технологічного процесу за умови застосування верстата (обробного центра) з ЧПК:

$$K_{ef} = \frac{A_o}{A_{ЧПК}} \quad (1.1)$$

За умови збільшення  $K_{ef}$  трудомісткість виробництва виробу (деталі) буде зменшуватися. Трудомісткість виробництва деталі можна визначити за такою формулою:

$$T = \sum_1^{A_{ЧПК}} (t_M + t_B + \frac{t_{nz}}{n})i \quad (1.2)$$

- де  $A_{ЧПК}$  - число операцій;  
 $t_B$  - допоміжний час, хв;  
 $t_M$  - машинний час, хв;  
 $t_{nz}$  - підготовчий час, хв;  
 $n$  - число деталей в партії.

Машинний час роботи не змінюється, або може зменшуватися на 20 - 30% через інтенсифікацію технологічних режимів різання на верстаті (обробному центрі) з ЧПК. Допоміжний час включає наступні види витрат робочого часу на верстаті: на керування верстатом; закріплення і зняття заготовки; на холості переміщення інструменту; на перевірку отриманих розмірів. Використання часу на виробництво зменшується коли замість ручного керування застосовується автоматичне керування за допомогою електричних і механічних приладів, гідروпневмоапаратури та ін. В

загальному, допоміжний час під час виробництва деталей зменшується приблизно на 50%.

Підготовчий час для верстатів (обробних центрів) з ЧПК складає близько 45 - 60 хвилин. Частина даного часу, яка необхідна на одну деталь, потребує зазвичай кілька хвилин. За умови концентрації обробки деталі він зменшується відповідно до величини коефіцієнта ефективності, а в результаті збільшується трудомісткість процесу виробництва.

Чим складніша форма та структура деталі, тим ефективніше використання числового керування при її обробці. Складність виготовлення виробу залежить від кількості та форми оброблюваних поверхонь, матеріалу, розмірів, заданої точності та шорсткості поверхні, а також технологічних вимог до деталі. Під час вибору деталей для обробки на верстатах з числовим керуванням, слід враховувати особливості, криволінійний профіль поверхні, який передбачає значну кількість переходів та проходів під час обробки.

Використання верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) дозволяє підвищити якість вироблених деталей, зменшити відсоток браку і знизити кількість слюсарних робіт, пов'язаних із вирішенням проблем при збиранні виробів.

Говорячи про технологічність конструкції виробу, ми маємо на увазі, що сам виріб повинен відповідати своєму призначенню, при цьому забезпечуючи максимальну простоту виготовлення. Якщо використовуються верстати з числовим програмуванням (ЧПК) для виготовлення деталей, це може ставити додаткові вимоги до конфігурації деталей для оптимальної технологічності.

## **1.2. Технологічний етап програмування ЧПК**

Виробничий процес створення деталей включає в себе послідовні операції, які виконуються на окремих верстатах робітниками. Кожна операція означає виконання конкретної частини процесу для виготовлення однієї деталі. Особливість технологічного процесу на верстатах з числовим



програмним управлінням (ЧПК) полягає в обмеженому числі операцій у маршруті технології через концентрацію обробки та етапну розробку операційної технології.

Аналізуючи початковий технологічний процес, необхідно його оптимізувати, збільшивши кількість операцій, які можна об'єднати в одну. Важливим аспектом при розробці технологічного процесу для верстатів з ЧПК є високий рівень деталізації. Успішний результат обробки значною мірою залежить від правильного та раціонального вибору траєкторії руху інструменту.

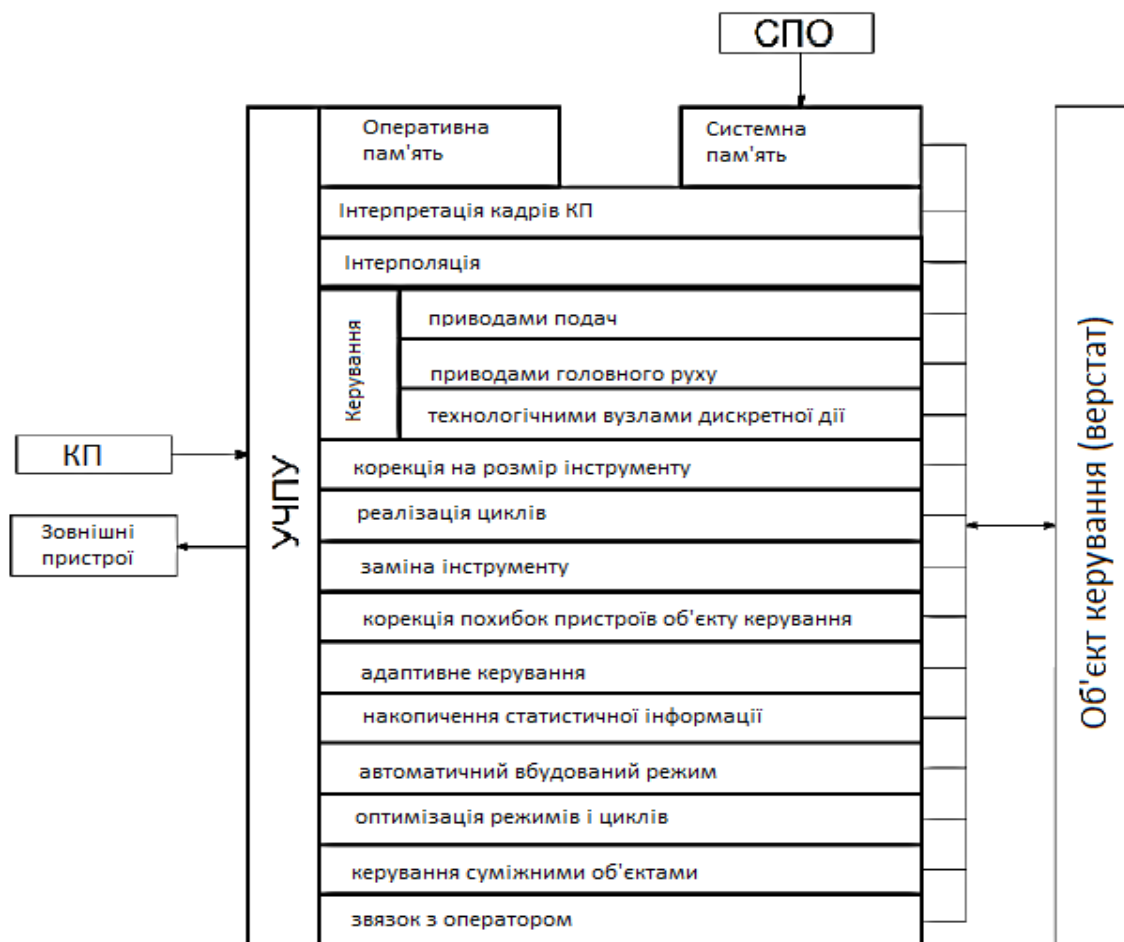


Рисунок. 1.1. Структурна схема керування верстатом з ЧПК.

Під час виготовлення деталей на верстатах з ЧПК для досягнення точності перших деталей використовується метод пробних проходів. Цей метод застосовується під час налаштування верстата на певний параметр, коли встановлюють ріжучий інструмент, налаштовують робочі частини верстата і

базують елементи пристроїв. Після налаштування інструмент займає позицію, яка гарантує отримання бажаного розміру в межах допустимих відхилень під час виготовлення.

Для оптимальної настройки верстата перші деталі в партії проходять кілька етапів обробки. Спочатку інструмент зсувається відносно заготовки за допомогою коректорів, після чого деталь вимірюється. Залежно від результату вимірювання інструмент знову коригується, забезпечуючи досягнення бажаного результату під час наступної обробки поверхні. Наступні деталі, іноді кілька одночасно, виготовляються в автоматичному режимі, і після вимірювання додаються додаткові корекції положення інструменту. З плином часу, коли процес стабілізується, деталі обробляються автоматично, і періодично вносять корекції, зазвичай застосовуючи чистовий інструмент.

Під час аналізу технологічного процесу рекомендується оптимізувати його, об'єднуючи максимальну кількість операцій у єдиний етап та впроваджуючи цей універсальний процес на верстаті з числовим програмним управлінням (ЧПК). Такий підхід дозволяє ефективно виконувати на верстаті різноманітні операції, такі як свердління, нарізування різи, розверчування, зенкування та інші.

Для створення траєкторії інструменту на верстатах з числовим програмним управлінням (ЧПК) важливо враховувати різноманітні аспекти технологічного процесу. Це включає визначення поверхонь оброблюваних деталей, розрахунок припусків для кожного переходу, обрання оптимального робочого інструменту, налаштування режимів різання, визначення кількості проходів по кожній поверхні, встановлення початкового положення інструменту та опис траєкторії його руху. Важливим аспектом розробки технологічного процесу для ЧПК-верстатів є високий рівень деталізації цих параметрів.

Відхилення в обробці заготовки залежать від різноманітних факторів. Для всіх видів металообробних верстатів ці відхилення обумовлені неточністю самого верстата, неправильним розташуванням і закріпленням заготовок,

помилками при налаштуванні інструменту та верстата на потрібний розмір. Також враховуються відхилення, які виникають внаслідок похибок у формі та розмірі інструменту чи його зношування, а також теплового деформування верстата, інструменту та заготовки.

Інші фактори включають зміни, що виникають через внутрішні напруження в матеріалі виробу, помилки налагоджувальника та оператора, а також відхилення засобів вимірювання.

Відхилення додатково залежать від різних факторів, таких як помилки інтерполятора та режиму інтерполяції. На особливе вплив має також помилка керуючої програми, де основною є похибка апроксимації, яка виникає при наближеному побудові траєкторій руху. Ця похибка відноситься до систематичних відхилень.

Всі ці відхилення можна поділити на дві основні групи. Перша група включає в себе відхилення, які виникають внаслідок змін сил різання. Друга група охоплює вплив на технологічну систему через зміни взаємного розміщення заготовки та інструменту поза впливом сил різання в технологічній системі.

Для виконання операцій на верстатах з ЧПК необхідно розробляти операційні розрахунково-технологічні карти. На етапі створення технологічного процесу важливо визначити кількість переходів і проходів, встановити їх послідовність та траєкторію руху інструменту під час обробки. Без цього неможливо визначити розташування опорних точок. Головна мета операційних розрахунково-технологічних карт - точно визначити розмірне поєднання траєкторії інструменту з системою координат верстата, вихідною координатою положення інструменту та розташуванням заготовки. Успішне виготовлення значно залежить від правильної та збалансованої розробки траєкторії руху інструменту.

Для складання інструменту визначають траєкторії переміщення:

- 1) ріжучий інструмент;
- 2) розмір припусків по кожному з переходів;



- 3) поверхні деталі, що мають бути оброблені на верстаті;
- 4) режими різання;
- 5) вихідне розміщення інструменту;
- 6) кількість проходів по кожній з поверхонь;
- 7) траєкторію руху інструменту.

Траєкторія руху ріжучого інструменту повинна бути зв'язана з системою координат верстата. Для верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПК) зазвичай використовується праворучна прямокутна система координат (зображена на Рис.1.2, а). У цій системі аналізується рух інструмента відносно оброблюваної деталі.

Якщо рух деталі відбувається щодо нерухомого інструменту, то для відповідної величини слід змінити знак на протилежний або, іншим чином, змінити напрямок осей координат. Зміну системи координат можна здійснити, як показано на Рис. 1.2, б, замінивши напрямок двох осей на протилежний і позначивши їх  $X'$ ,  $Y'$ . Це дозволяє уявно вважати, що весь рух відбувається інструментом при нерухомому положенні.

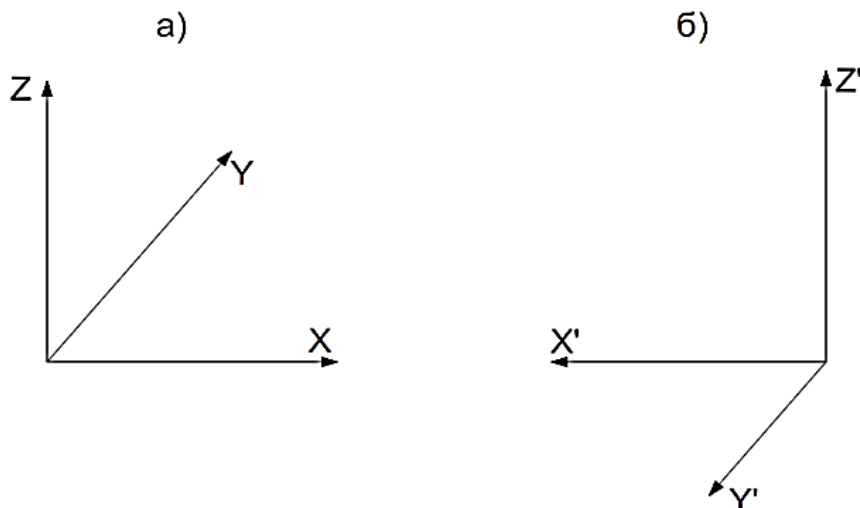


Рисунок. 1.2. Прямокутна система координат правостороння.

Під час обробки плоских деталей інструмент рухається в одній площині, в той час як обробка об'ємних деталей передбачає рух інструменту в просторі, по трьох координатних осях. У деяких випадках кількість програмованих

координат може змінюватися до п'яти, що включає рух по осях та навколо них. Траєкторією ріжучого інструменту називають шлях, який він подолав у відносному переміщенні, такий як вісь фрези або центр кола при вершині різця.

Контур виробу формується з відрізків прямих, дуг кіл і кривих (наприклад, еліпси, гіперболи, параболи). Зазвичай він обмежений відтинками прямих і дугами кіл, і рідко включає складніші криві. Кожен відрізок контуру визначає елементарну ділянку, обмежену опорними або вузловими точками - граничними точками суміжних поверхонь.

Припуск на обробку - це шар матеріалу, який знімається з заготовки під час механічної обробки для досягнення заданих параметрів деталі. Такий припуск існує лише на тих поверхнях, які піддаються обробці. Операційний припуск - це припуск, який знімається під час виконання конкретної операції обробки. В механічній обробці розрізняють три види припусків: номінальний, мінімальний, максимальний.

Мінімальний припуск зазвичай розраховують для визначення номінальних розмірів, які використовуються при підборі технологічної оснастки. Номінальний припуск служить для визначення цих розмірів. Максимальний припуск показує максимальне навантаження на ріжучий інструмент під час одного робочого ходу. Розміри припусків визначаються розрахунково-аналітичним або статистичним методом. Припуск вказує на сторону, тобто на оброблювану поверхню. У випадку деталей, які є об'єктами обертання, припуск вказує на діаметр, що еквівалентний подвійній товщині оброблюваного шару.

Необхідно встановлювати достатні припуски для механічної обробки відповідно до технологічного процесу з метою досягнення точності розмірів, якості поверхні та шорсткості при мінімізації витрат матеріалу та собівартості деталі. Такий припуск вважається оптимальним. Розрахунок оптимальних припусків є складною техніко-економічною задачею, оскільки займається збалансуванням всіх аспектів виробництва. Надмірні припуски можуть

призводити до збільшення загальних витрат, включаючи вартість матеріалу, інструменту, експлуатації обладнання та оплати праці. З іншого боку, недостатні припуски можуть ускладнити процес обробки та порушити точність та якість виробу, що збільшує ризик виробничого браку та зростання витрат на добрі деталі. У виробництві, де акцентують на масовому виробництві, прагнуть мінімізувати припуски для оптимізації обробки та зменшення обсягу подальших операцій.

Під час планування припусків для дрібносерійного виробництва, важливо враховувати не лише матеріальні витрати, а й вартість виготовлення самої заготовки. При розрахунках припусків на обробку, слід також встановлювати припустимі відхилення, тобто допуски на габарити заготовки. Ігнорування цих допусків може спричинити поломки інструментів, пристроїв, а також призвести до аварійних ситуацій у роботі верстатів, транспортних систем та вимірювальних засобів.

Вибір ріжучих інструментів у процесі програмування включає в себе визначення типу інструменту, конструктивних характеристик для обраного типу і вибір необхідних геометричних параметрів цього інструменту.

Інструменти, використовувані на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК), повинні відповідати таким вимогам:

1. використовувати нові пластини, де це можливо, для максимальної ефективності;
2. застосовувати оптимальні форми пластин, які дозволяють обробляти найбільшу кількість поверхонь виробу за один прохід;
3. систематизувати основні та допоміжні розміри інструменту для простішого управління;
4. забезпечити однакові основні координати для різців з різними кутами в плані для спрощення програмування технологічних операцій;
5. забезпечити можливість роботи всіх інструментів в обох напрямках – як в прямому, так і в перевернутому положенні.

Автоматична заміна інструментів та використання високоякісних спеціальних інструментів на верстатах порівняно з традиційними верстатами може призводити до певного падіння стійкості інструменту та збільшення режимів різання. Норми стійкості інструменту наразі базуються на його тривалому використанні на універсальному обладнанні. Однак у таких умовах зниженню стійкості ускладнює ручна заміна інструменту, що веде до простою верстата.

Зниження часу обробки є ключовим фактором для підвищення продуктивності верстатів з ЧПК. У випадку агрегатних верстатів, спеціалізованих та масового виробництва, ефективним методом скорочення часу є використання багатоінструментальної обробки, де деталь одночасно піддається обробці декількома інструментами. Однак для ЧПК верстатів цей підхід не є оптимальним, оскільки він обмежує основну перевагу цих верстатів - їх універсальність.

### **1.3. Аналіз і розрахунки програмування на верстатах з ЧПК**

Метод розрахунково-аналітичний вимагає інформації щодо найменших змін обробки, які виникають внаслідок впливу кожного окремого фактора.

Головною метою даного етапу є встановлення місця розташування ключових точок траєкторії інструменту. Коли траєкторія інструменту вже визначена, для правильного програмування необхідно точно знати положення опорних точок.

Відхилення установки заготовки є результатом геометричної суми відхилень базування та закріплення. Відхилення базування виникає через невідповідність між настановною базою та вимірювальною. Відхилення налаштування інструменту з точністю визначаються відхиленням самого агрегату під час налаштування. Відхилення обробки, спричинені спрацюванням, пов'язані із змінами розміру та форми робочих частин інструменту, а також із змінами складових сил різання. Розмірне зношування



може призводити до зміщення розмірної стійкості верстата і може бути скориговано за допомогою налаштувань.

Під час обробки заготовки похибки її форми і положення зменшуються при кожному наступному проході інструменту. Співвідношення отриманої після обробки похибки до відхилення до обробки називається коефіцієнтом уточнення. Зі збільшенням жорсткості верстата зменшується кількість необхідних проходів для досягнення необхідної точності при обробці деталі. Відхилення остаточно обробленої деталі включає в себе як залишкові відхилення, так і похибки, які виникають під час остаточних проходів інструментів.

Щоб знайти опорні точки еквідистанти, слід керуватися таким принципом: якщо контур обмежений двома прямими, то опорна точка еквідистанти розташовується на бісектрисі кута між цими прямими, тобто у місці перетину еквідистанти з бісектрисою.

Якщо контур розділений на ділянки прямої та дугою кола, то для розташування еквідистантних точок слід встановлювати їх вздовж нормалі до прямої, яка прокладається через опорну точку контуру.

Коли дві прилеглі поверхні контуру обмежені кривими, опорну точку еквідистанти розміщують на лінії, яка перпендикулярна до спільної дотичної.

Розрахунок з'єднань "пряма-окружність" для верстата з числово-програмованим керуванням (ЧПК) дозволяє визначити координати точок перетину окружності і дотичної прямої. Цей метод передбачає послідовне введення двох точок, А і В, які розташовані на прямій, і точки С, яка не знаходиться на цій прямій. Система керування розраховує координати точки перетину шляхом визначення того місця, де нормаль, проведена з точки С, перетинається з відрізком АВ, а також визначає відстань по перпендикуляру до цієї прямої (див. Рис. 1.3).

Ця функція також дозволяє виконати розрахунок точок дотику між двома колами. Для цього необхідно вказати координати центрів обох колів та

їхні радіуси. ЧПК визначає розташування точок дотику, утворюючи дотичні прямі до обох кіл.

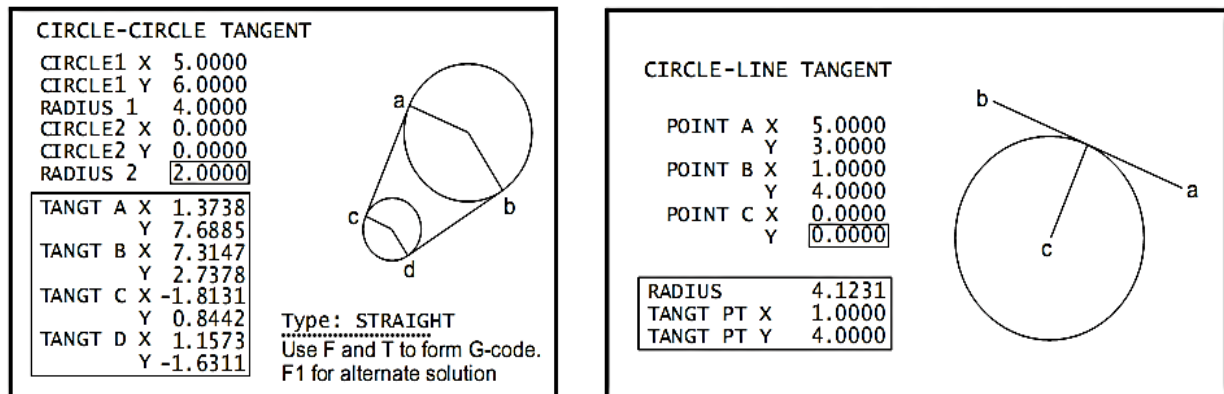


Рисунок. 1.3. Визначення опорних точок траєкторії еквідистанти

Необхідно використовувати форму подання координат опорних точок, яка відповідає системі вимірювання верстата. Точні координати опорних точок можна отримати, прямо взявши їх з креслення виробу або шляхом використання методу більш складних розрахунків.

Координати опорних точок траєкторії для інструменту задаються безпосередньо в програмному коді управління.

Під час розробки програм для керування верстатами з числовим програмуванням (ЧПК) виникають неполадки на кожному етапі процесу: аналітичному, технологічному та на етапі кодування інформації. На етапі технологічного програмування спостерігаються помилки у проектуванні технологічного процесу, визначенні траєкторії інструменту (зокрема, розрахунок кількості проходів, розмірів припусків і допусків, установки заготовки, вибору верстата, інструменту та обладнання, а також визначенні режимів різання). Виявлення помилки, пов'язано із визначенням координат опорних точок, належать до етапу аналітичного розрахунку програмування.

Під час кодування числової і командної інформації можуть виникати помилки, такі як пропуск символів, введення невірних символів, орфографічні помилки у написанні слів та побудові виразів, а також використання неправильних посилань. Також помилки можуть виникати при записі

програми на знімний носій інформації, включаючи спотворення при записі команд та розмірної інформації.

Існує дві основні категорії методів усунення помилок у керуючих програмах: заходи, спрямовані на запобігання виникненню помилок, та дії для контролю та виправлення вже виниклих програмних помилок.

Використання автоматизованих систем управління не лише сприяє автоматизації процесу програмування, що призводить до підвищення продуктивності праці при створенні керуючих програм, але також значно покращує їхню якість. Під час автоматизованого програмування кількість помилок значно зменшується, і за допомогою програмних методів можна виявити та виправити існуючі недоліки. Існуючі транслятори, обробляючи вхідну інформацію, можуть виявляти конкретні помилки та повідомляти про них на пульти управління чи в спеціальних документах. З імплементацією вдосконалень у трансляторах ця функція буде постійно удосконалюватися.

Для виявлення допущених помилок в програмному кодї використовується спеціальний етап програмування - контроль програмного коду. Методи контролю різноманітні і залежать від умов та наявного апаратного забезпечення.

Останнім етапом у програмуванні є введення програми на верстат. Забезпечення необхідної точності розмірів та шорсткості поверхні, мінімізація вібрацій, ефективне ламання стружки, стабільність інструменту та максимальна надійність процесу вимагають тщательної настройки різальних режимів, калібрування інструменту та оптимального охолодження. Час, витрачений на цей етап, часто перевищує сумарний час інших етапів.

Встановлення управляючих програм здійснюються в наступній послідовності: перевіряють програму без використання інструментів, пристроїв або готових заготовок; відтворюють пробне оброблення виробу (або деталі), використовуючи необхідні пристрої та інструменти; виготовлення контрольної деталі.

Ефективна робота верстата з ЧПК неможлива у випадку введення невірних параметрів режимів різання. У більшості випадків при виготовленні деталей на верстатах з ЧПК використовується методика, що спроектована для традиційних верстатів.

Порядок підбору режиму різання під час виготовлення деталі: подача; глибина різання; швидкість різання.

Глибину різання під час грубого оброблення у першому наближенні визначають з урахуванням жорсткості інструменту, твердості твердосплавної пластини та її розмірів. Максимальну глибину різання для грубих проходів і середню рекомендовану часто вказують у документації або нормативах для конкретного інструменту. При оптимізації параметрів різання спочатку задану глибину різання коригують в залежності від заданої подачі і швидкості різання.

Максимально допустимі параметри подачі встановлюються враховуючи технічні обмеження, такі як жорсткість оброблюваного виробу, жорсткість інструменту, міцність механізму подач верстата, максимальний крутний момент, потужність головного приводу та приводу подачі. Відомості про подачу для чорнкової обробки зазвичай представляються у відповідних таблицях, які можуть бути налаштовані різними коефіцієнтами відповідно до конкретних умов обробки.

Щоб досягти оптимальної стійкості інструменту при обраній глибині різання і подачі, регулюється швидкість різання. Під час процесу різання важливо враховувати спрацювання по передній та задній гранях інструменту. У кожному випадку встановлюється припустимий рівень зношування, і коли цей рівень досягається, необхідно провести точіння або замінити інструмент.

На практиці, реальні значення граничного спрацювання можуть відрізнятися від тих, що були визначені теоретично. Це може бути обумовлено різними вимогами до точності обробки, етапами примусової заміни інструменту, а також циклами налагодження інструменту.

Різці для верстатів з числовим програмуванням (ЧПК) мають стандартні конструкції. Вони універсальні та можуть розбиратися. Ці різці оснащені багатограними пластинами, виготовленими з твердосплаву, високотвердих матеріалів або мінералокераміки.

Твердосплавний інструмент може вийти з ладу через зношування або крихке ламання. Однак при виборі стандартних параметрів різання для універсальних машин з ручним керуванням, крихке ламання зазвичай не розглядається. Припускається, що оператор уважно спостерігає за процесом обробки і, помітивши пошкодження інструменту, вчасно зупиняє роботу, уникаючи неприємних наслідків. У випадку верстатів з ЧПК, які працюють у напівавтоматичному режимі та мають захисну зону обробки, викидання інструменту може викликати брак деталі і негативно вплинути на функціонування верстата. Статистика показує, що до 30-50% випадків ламання різців пов'язані з крихким руйнуванням.

Випадки, пов'язані з неправильним використанням інструменту, можна класифікувати у трьох основних категоріях: стійкість процесу обробки; характер і розмір навантаженої пластини; якість твердосплавного інструменту.

Існують різноманітні фактори, які можуть сприяти руйнуванню ріжучого інструменту при обробці матеріалів. Наприклад, дефекти на поверхні заготовки, нерівномірний припуск на сторону та вібрації системи можуть викликати дестабілізацію процесу. Розмір навантаження значно залежить від швидкості подачі матеріалу, в той час як його характер визначається геометрією ріжучого інструменту. Також важливо враховувати, що інструмент може піддаватися навантаженню як на згинання, так і на стиск. Навантаження на стиск менше впливає на крихке руйнування ріжучого інструменту в порівнянні з іншими типами навантажень.

На верстатах з ЧПК, які використовують автоматичну заміну інструменту, економічна складова становить лише 15-25 хвилин, що значно менше, ніж на універсальних верстатах. Це дозволяє ефективно підбирати режими роботи для досягнення максимальної продуктивності обробки.



## **Розділ 2. Обґрунтування методів підвищення ефективності роботи на верстаті з ЧПК**

### **2.1. Послідовність робіт на верстатах з ЧПК**

Впровадження верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) та управління їх роботою з комп'ютера дозволяє підняти продуктивність праці та вирішити економічні, організаційні та соціальні питання. Ефективне використання обладнання з ЧПК, організація повністю автоматизованих ділянок та виробництв, які контролюються комп'ютерами, введення автоматичного завантаження та розвантаження обладнання різко змінюють трудові обов'язки робітника. У навіть неавтоматизованому виробництві робітник є невіддільною частиною виробничого процесу, яка потребує періодичних перерв для відпочинку. Якість операцій, виконуваних робітником, в процесі виробництва залежить від різних, включаючи випадкові, некеровані фактори.

Оперативність обробки на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК) вимагає вищого рівня деталізації в порівнянні з традиційним технологічним процесом. Технологічний процес обробки на ЧПК вимагає більш докладного планування та розв'язання завдань, ніж для універсального верстата.

Виробничий процес розглядається як сукупність операцій, які включають установки, позиції, технологічні та додаткові переходи, а також робочі та допоміжні проходи. При використанні обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК), деталізація технологічного процесу призводить до розбиття проходів на окремі кроки.

Оптимізація процесів виготовлення деталей на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК) вимагає виконання ряду загальних вимог для ефективності та ефективного використання цих верстатів або тих, які плануються використовувати: уніфікація форм виробів та їх розмірів; уніфікація зовнішніх і внутрішніх радіусів; розроблення деталі такої форми,

яка забезпечувала б доступ ріжучого інструменту до обробки всіх поверхонь; забезпечення формою деталі надійного і зручного кріплення під час обробки.

Усі ці вимоги спрямовані на зменшення стандартних розмірів використовуваного різального інструменту, впровадження більш продуктивного та економічно вигідного інструменту, скорочення кількості переустановок деталі, зменшення кількості та вартості необхідного обладнання, покращення точності базування, а також підвищення точності та продуктивності виготовлення деталей і зменшення викривлення виробу під час обробки.

Виробничий процес передбачає ретельний розподіл обробки деталі на конкретні зони, які представляють собою частину припуску на різних елементах. Цей припуск може бути видалений за допомогою різних інструментів протягом кількох переходів або операцій. Розподіл на зони дозволяє використовувати стандартні схеми переміщень, що визначають правила траєкторії інструменту. Це спрощує процес підготовки керуючої програми для верстатів з ЧПК.

Порядок обробки кожної зони зазвичай пов'язаний з конфігурацією деталі і розробляється окремо для кожної частини деталі. У методі автоматизованої підготовки технологічного процесу виникають складні вибіркові задачі, де необхідно обрати оптимальне рішення серед безлічі можливостей. Тим не менше, в автоматизованому виробництві технологічні рішення можуть відрізнитися.

На практиці в роботі на верстатах з ЧПК цей метод виявляється зручним, оскільки спрощує процес створення керуючих програм. Зазначені вимоги часто можуть бути виконані за допомогою змін у геометричній формі або окремих елементів деталі, редагування розмірів або зміщення окремих елементів.

## **2.2 Складання математичної моделі для технологічного процесу виготовлення деталі на верстаті з ЧПК**

На сьогоднішній день, при використанні верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) для точіння або фрезерування, широко поширена високотехнологічна та автоматизована система управління. Більшість систем числового програмного керування розроблені на основі постпроцесорів, що є мікропроцесорними системами високої точності. Ці системи не лише володіють необхідними обчислювальними можливостями, але і мають високий рівень продуктивності. Важливо відзначити, що незважаючи на велику автоматизацію, режими різання все ще встановлюються та коригуються вручну.

По-перше, причина цього полягає у тому, що існуючі методи та підходи до обробки технологічної інформації практично неможливо формалізувати для подальшого використання. Крім того, часто вони надають неповні або некоректні результати, що потребує подальшої корекції. Низька достовірність інформації на початкових етапах моделювання обробки на верстатах з ЧПК пояснюється значною розбіжністю ключових залежностей, які використовуються для розрахунку швидкості та сил різання. Алгоритми та програми для автоматизованого розрахунку режимів обробки на електронних обчислювальних машинах застосовуються широко у виробництві. Проте, їхні результати можуть бути неточними через недостатнє врахування реальних умов різання, властивостей матеріалу та стану деталі та ріжучого інструменту. Таким чином, проблема відсутності точної математичної залежності в алгоритмах для автоматизованого розрахунку параметрів обробки, зокрема вибору параметрів різання, переважно впливає з необхідності проведення попередніх практичних випробувань на зразках матеріалу. Це необхідно для точного визначення коефіцієнта поправки на технологічні властивості конкретного матеріалу. Для оптимізації процесу обробки використовуються формули, які ґрунтуються на моніторингу розміру безпосередньо в зоні різання під час обробки матеріалу. Виміри точності обробки виробу та

інструменту служать важливим показником технологічних параметрів матеріалів та інструменту, які взаємодіють між собою. На основі цього пропонуються формули для розрахунку сил різання та швидкості:

$$V_{\text{різ}} = \frac{W - tK_{np}}{P^{0.2}l^{0.15}F^{0.35}K_{np}^s} \quad (2.1)$$

де  $K_{np}$  - коеф. ефективності першого проходу;  $t$ ,  $W$ ,  $s$  - коефіцієнти умов обробки попередньої, ( $t = 24,7$ ;  $W = 625$ ;  $s = 0,24$ );  $P$  - норма стійкості інструменту, хв;  $F$  - подача, мм/об;  $l$  - глибина різання, мм.

$$A_x = (W_x + t_x K_{np}) l^1 F^{0.5} V_{\text{різ}}^{-0.4} \quad (2.2)$$

$$A_y = (W_y + t_y K_{np}) l^{0.9} F^{0.6} V_{\text{різ}}^{-0.3} \quad (2.3)$$

$$A_z = (W_z + t_z K_{np}) l^1 F^{0.75} V_{\text{різ}}^{-0.15} \quad (2.4)$$

де,  $A_x, A_y, A_z$  - складові сили різання, кгс;  $F$  - подача, мм/об;  $l$  - глибина різання, мм;  $K_{np}$  - коеф. ефективності першого проходу;  $V_{\text{різ}}$  - шв. різання, м/хв;  $W_x, W_y, W_z$  - постійні величини;  $t_x, t_y, t_z$  - постійні величини, які дорівнюють відповідно.

На основі проведеного дослідження у сфері промислового виробництва були розроблені формули, які дозволяють дотримуватися зазначеного циклу повної стійкості ріжучого інструменту з вищою точністю. Таким чином, створено передумови для впровадження цих формул у алгоритм технологічних процесів при розрахунку оптимальних режимів різання для обробки на верстаті з числовим програмним керуванням.

Математичне обґрунтування та формулювання розв'язку задачі при виборі оптимальних параметрів управління системою обробки (різання) процесів можна виразити у вигляді завдання лінійного програмування наступним чином. Необхідно знайти

$$\min \sum_{i=1}^m c_i x_i \quad (2.5)$$

за умови дотримання обмежень

$$x_i \geq 0, \quad i = \overline{1, m}$$

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} x_i \geq b_j, \quad j = \overline{1, n}$$

де  $n$  – кількість обмежень завдання;

$m$  – к-ть параметрів змінних;

$a_{ij}, b_j$ , - відповідні константи.

Для підвищення ефективності в нашому випадку ми повинні взяти основний час технологічного процесу (як величину, зворотний  $mF$ ) в якості цільової функції, що виступає критерієм оптимальності:

$$t_{очн} = \frac{1}{mF}; mF \rightarrow \max \quad (2.6)$$

У випадку, коли ефективний термін служби різця (інструменту) перевищує вказаний мінімальний період, і значення ряду технологічних характеристик та параметрів процесу обробки залишаються в межах встановлених програмою граничних значень.

Для визначення оптимального режиму обробки деталі та заготовки на металорізальному верстаті з ЧПК, необхідно враховувати технологічні характеристики матеріалу заготовки та властивості металорізального інструменту. Також слід аналізувати взаємодію між інструментом та матеріалом під час обробки, а також урахувати механічні можливості верстата з ЧПК.

Важливим етапом є аналіз властивостей у контексті системи "робоче креслення - програмний код - верстат - інструмент - виріб". Необхідно визначити оптимальні параметри подачі та швидкості різання, які забезпечать технологічну форму заготовки або виробу відповідно до технічних вимог при мінімальних витратах продуктивності праці. При цьому глибина різання повинна бути заданою на початкових етапах процесу обробки, і кожен прохід має бути нормованим окремо. Це відповідає прогресивному та раціональному методу обробки для кожної операції за один прохід.



### 2.3 Процес виготовлення деталей на верстатах з ЧПК

Автоматична обробка верстатами з числовим програмним керуванням (ЧПК) забезпечує стійкість у якості обробки та однаковість всіх виготовлених деталей завдяки відсутності тих факторів, які можуть впливати при ручному управлінні та редагуванні управляючих програм (фізична втома, зовнішні впливи, емоції робітника, помилки в керуванні та вимірюванні розмірів деталей, порушення координації рухів). Проте залишається вплив точності налаштувань та майстра-налаштувальника. Зменшення переустановлень заготовки під час технологічного процесу значно зменшує відхилення базування.

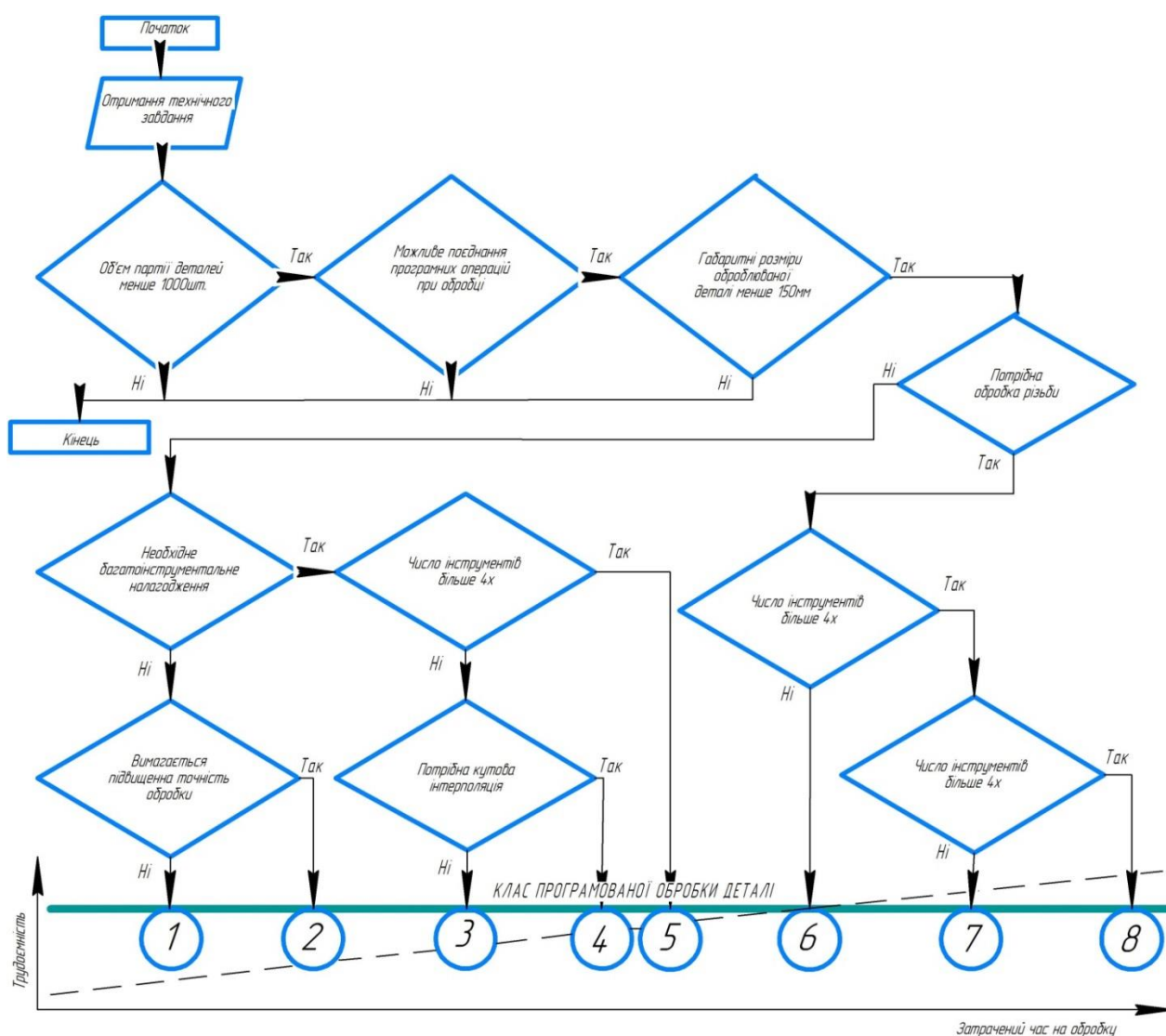


Рисунок. 2.1. Схема класифікаційного порядку побудови коду для дрібносерійного виробництва деталі.

Підвищення якості обробки на верстатах з ЧПК базується на підвищенні жорсткості та точності самого верстата, а також відповідності вимогам, заданим пристроєм. Методи зчитування та введення керуючого коду значно впливають на якість і продуктивність виготовлення виробів. Покращення точності верстатів широко досліджені і описані в наукових працях. Важливими є також впливи приладів ЧПК на точність виготовлення, такі як дискретність, інтерполяція, розмір мінімального приросту, міжкадрова зупинка і якість системи автоматизованого регулювання. При лінійній інтерполяції прямолінійного контуру відхилення переміщення інструмента відносно заготовки залежить від кута нахилу прямолінійного контуру. Максимальне відхилення в одну сторону спостерігається при мінімальному нахилі контуру. При круговій інтерполяції зміщення по радіусу може становити дві дискрети, а при використанні методу оціночної функції для інтерполяції зміщення по радіусу становить менше однієї дискрети. Згладжування реального контуру за допомогою кінцевої фрези призводить до зміщення менше, ніж на одну дискрету.

У результаті цього процесу мінімальний крок переміщення або приріст інформації (дискрета) стає мінімальним розміром відхилення відсутньої похибки, що може виникнути без впливу інших факторів, таких як теплові деформації чи знос інструменту. Розміри дискрети в сучасних фрезерних і токарних верстатах з ЧПК можуть бути 10, 5, 2 і 1 мікрометри. Міжкадрові зупинки, які виникають через перерви в надходженні керуючої інформації від попереднього кадру до наступного, можуть призводити до зупинення руху подачі, залишаючи головний робочий рух, наприклад, обертання фрези або заготовки, без змін. Вплив міжкадрових зупинок на обробку в приладах ЧПК зменшується шляхом ускладнення електронної схеми і структури. Це дозволяє ефективніше зчитувати інформацію з наступного кадру. Додатково використовується кругова інтерполяція з включенням додаткових параметрів обробки для швидшого виконання завдань. Під час роботи на верстатах з ЧПК система вирішує відхилення, що виникають через розрахунки, апроксимації,

інтерполяції і відтворення керуючого коду. При експлуатації металорізальних верстатів з ЧПК виникає похибка, яку система ЧПК вводить у процес виготовлення, і вона становить від 0,2 до 0,25 допуску відповідно до заданих керуючих кодів. Інші початкові відхилення, що входять до загальної похибки виготовлення на цих верстатах, можна сформулювати як відхилення від зазначеної точності в процесі підготовки та реалізації керуючих програм: зміни, що виникають внаслідок еластичних змін у технологічній системі через непостійність сил різання, 0,05 - 0,1; позиціонування 0,1 - 0,2; теплова деформація 0,1 - 0,15; налагоджування і центрування 0,4 - 0,45; відхилення, що виникає в результаті великого впливу різального інструменту на оброблюваний матеріал 0,1 - 0,2.

Способи зменшення відхилення, введеного системою ЧПК, включають в себе розробку управляючого коду на електронних обчислювальних машинах з використанням уточнених допоміжних параметрів для оптимізації режимів виробництва, автоматизацію підготовки управляючого коду, поліпшення засобів числового управління та пошук нових структурних рішень для їхнього впровадження.

Якість виготовлення деталей на верстатах з числовим програмуванням (ЧПК) розподіляється за чотирма, трема та навіть двома класами точності. На деяких верстатах досягається другий клас точності обробки. Щодо фрезерних верстатів, які використовуються для обробки сталі та алюмінію, якість виготовлення кінцевою фрезою може варіюватися в межах четвертого та п'ятого класів точності. При фрезеруванні з використанням кінцевої фрези, значну частку відхилень у якості обробки визначає пружна деформація металорізального інструменту.

Виробництво деталей на фрезерних верстатах можна покращити за допомогою технологічних методів на програмному рівні. Наприклад, оптимізуючи траєкторію руху металорізального інструменту так, щоб усі навантаження при різанні діяли на вузли верстата з одного боку. Верстати з ЧПК, такі як HAAS SL20 і VF4, дозволяють досягти якості обробки на рівні 2-

го класу точності. Цей результат досягається завдяки попередньому і кінцевому коригуванню інструмента для досягнення необхідного розміру обробки. Попереднє коригування інструменту поза верстатом за допомогою агрегата з індикатором годинникового типу забезпечує точність розточування першого виробу в межах 0,05 мм. Кінцеве налаштування (коригування) виконується за допомогою перемикачів на стійці обладнання з ЧПК.

Автоматичне вирішення параметрів обробки, які визначають якість обробки, дозволяє значно покращити точність обробки у 2 - 5 разів. Це призводить до серйозного підвищення стійкості металорізального інструменту, зазвичай у півтора рази, і його рідшого поламавання.

### **2.3.1. Точність обробки на верстатах з ЧПК**

Напівавтоматичний або автоматичний режим роботи верстата з ЧПК повинен забезпечувати високий ступінь якості обробки, що залежить від загального відхилення обробки. Це відхилення може бути впливоване різними факторами, такими як точність самого верстата, правильність системи управління, відхилення у кріпленні заготовки, розмірні відхилення при налагодженні інструментів, розмірні відхилення при налагодженні самого верстата, відхилення виготовлення інструменту та ступінь зносу ріжучого інструменту.

Геометрична точність верстатів у ненавантаженому положенні класифікується за чотирма категоріями в порядку зростання точності: Н (нормальної чіткості), П (підвищеної чіткості), В (високої чіткості) і А (особливо високої чіткості). Верстати класу П мають точність обробки приблизно в межах 0,6 інтервалу зміщень розмірів, верстати класу В - приблизно 0,4, верстати класу А - приблизно 0,25 інтервалу зміщень, які можуть виникнути на верстатах класу Н (нормальної чіткості).

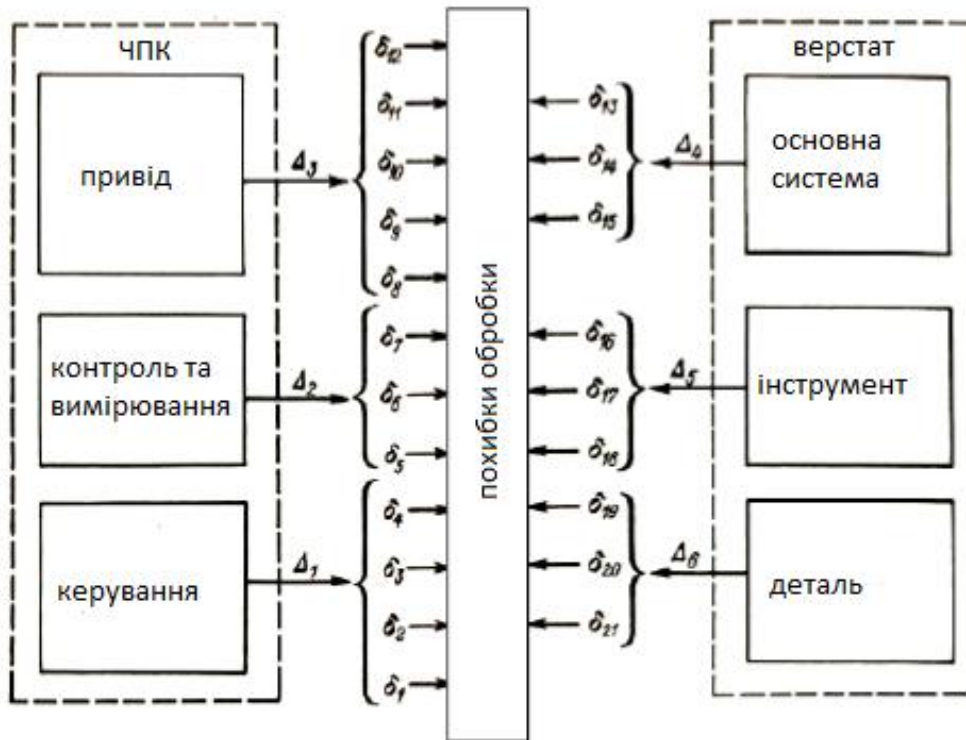


Рисунок 2.2. Відхилення обробки на верстатах

Під час контролю норм точності верстатів проводять оцінку різних параметрів, таких як точність геометричних форм і взаємне розташування опорних поверхонь, які використовуються для базування інструменту та заготовки. Також враховується точність переміщень вздовж направляючих робочих органів верстата, точність розміщення осей обертання і траєкторій переміщень робочих органів верстата, що несуть деталь та інструмент, які взаємодіють один з одним, а також відносно опорних поверхонь. Крім того, оцінюється якість оброблених поверхонь виробу та шорсткість оброблених поверхонь деталі.

Для визначення точності верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПК) важливо враховувати ряд специфічних показників, які вказують на їхню ефективність. До цих показників відносять якість лінійного розміщення робочих органів, розмір зони нечутливості (запізнення при зміні напрямку руху), якість повернення робочих органів у початкове положення, стійкість при досягненні заданої координати, якість роботи під час кругової інтерполяції та стійкість після автоматичної зміни положення інструментів.



Таблиця 2.1 містить показники точності лінійного розміщення робочих органів верстатів з ЧПК.

Таблиця 2.1

Максимально допустима похибка  $\Delta$ , мкм

Клас точності верстату	Переміщення по довжині, мм																	
	До 50		від 50 до 80		від 80 до 125		від 125 до 200		від 200 до 320		від 320 до 500		від 500 до 800		від 800 до 1250		від 1250 до 2000	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Н (1-3)	8	12	10	10	12	20	16	25	20	30	25	40	40	50	40	65	50	80
П (4-6)	4	6	5	8	6	10	8	12	10	16	12	20	16	26	20	30	25	40
В (7-8)	2	3	2,5	4	3	5	4	6	5	8	6	10	8	12	10	16	12	20

Під час контролю важливо враховувати якість і стійкість обробки на верстатах з ЧПК. Стійкість, тобто здатність робочих елементів повторювати своє положення багаторазово, виявляється критичною, більш важливою за точність самого положення. У таблиці 2.2 представлені максимально припустимі значення нестабільності при лінійному переміщенні.

Таблиця 2.2.

Максимально допустима нестабільність, мкм

Клас точності верстату	Переміщення по довжині, мм									
	До 50		від 50 до 125		від 125 до 320		від 320 до 800		від 800 до 2000	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Н (1-3)	9,6	15,0	12,0	18,0	15,0	24,0	24,0	36,0	36,0	60,0
П (4-6)	4,8	7,2	6,0	9,6	7,2	12,0	12,0	18,0	18,0	30,0
В (7-8)	2,4	3,6	3,0	3,8	3,6	6,0	6,0	9,6	9,6	15,0

Загальна допустима похибка у позиціонуванні робочих елементів верстата регулюється максимальними відхиленнями. Наприклад, при переміщенні на відстань 300 мм по осях X і Y для верстата класу П максимальна похибка становить 17,2 мкм, а для верстата класу В - 8,6 мкм. З метою забезпечення довготривалої точності роботи верстата, параметри геометричної точності під час його виробництва покращуються на 40% порівняно з нормативами. Це дозволяє фірмі-виробнику забезпечити додатковий запас на зношування і тривалу експлуатацію нового верстата.

### 2.3.2. Процес обробки заготовок на верстатах з ЧПК

Похибки інтерполяції та стан інтерполятора впливають на точність обробки. Інтерполятор призводить до відхилень у робочій траєкторії, що виражаються геометричними похибками. Величина похибки  $\delta$  залежить від кута нахилу траєкторії відносно координатних осей і не перевищує розміру імпульсу (дискрету)  $\Delta$ . Ця похибка може становити  $\pm 0,707 \Delta$  на обмеженій ділянці в обидва боки від заданої траєкторії.

У першому поколінні верстатів з дискретністю до однієї десятої міліметра виникали значні відхилення у обробці через роботу інтерполятора. У сучасних верстатах із розміром імпульсів 0,001-0,002 мм геометричні похибки інтерполяції не суттєво впливають на якість обробки, але вони можуть виявитися у вигляді мікрогеометричних зміщень, таких як шорсткість обробленої поверхні.

Інтерполятор може викликати значні помилки, які виникають у режимі інтерполяції через циклічні помилки передачі руху між пристроями подачі. Ці помилки виникають через осьове биття, внутрішні помилки ходових гвинтів, неправильності в шестернях редукторів і передачах, а також зміщення в співвісності валів у кінематичній схемі, такі як рушій приводу подачі, редуктор, ходовий гвинт і давач. При роботі за однією координатою ці похибки виявляються у формі нерівномірності руху робочих елементів, проте не впливають на оброблену поверхню виробу через невеликі відхилення подачі, які практично не мають впливу на мікро- та макрорезультати обробки.

Якщо в процесі інтерполяції відбувається одночасний рух робочих органів по двох або більше осях, це призводить до значно відмінних результатів. У таких ситуаціях нерівномірність переміщення навіть лише вздовж однієї з траєкторій призводить до похибок у розмірах і хвилястості обробленої поверхні.

Уявімо собі ситуацію у двовимірній системі координат  $XZ$ , яка відображена на Рис. 2.6. В цій системі нерівномірність виникає під час обертання крокового гвинта при руху вздовж координати  $Z$ , тоді як рух

вдovж координати  $X$  відбувається рівномірно. Нехай  $P_z$  і  $P_x$  позначають відповідно рухи крокових гвинтів вдovж осей  $Z$  і  $X$ . Таким чином, ми можемо вказати, що нерівномірність виявляється під час переміщення по координаті  $Z$  під час обертання гвинта, в той час як рух по координаті  $X$  відбувається рівномірно.

Припустимо, що ми використовуємо лінійну інтерполяцію для обробки конічної поверхні на металорізальному верстаті, де ріжучий інструмент рухається під кутом  $\alpha_1$  до осі  $Z$ , яка є осовою для деталі. З огляду на циклічність помилок у русі по осі  $Z$  через половину оберту крокового гвинта, каретка пройде відстань, більшу, ніж  $1/2$  кроку, на величину  $\Delta P_z$ . Це призведе до того, що ріжучий інструмент опиниться в точці  $A_1$ , а не в необхідній точці  $A$ . На обробленій поверхні виникне хвилястість з величиною хвилі та кроком, які утворюють неправильності в процесі обробки  $P_1 = \frac{P_z}{\cos \alpha_1}$

Зростання кута нахилу до осі  $Z$  зростають висота  $\delta_2 = \Delta P_z \sin \alpha_2$  і  $P_2 = \frac{P_z}{\cos \alpha_2}$  хвилі. Оцінюючи крок і розмір хвилі, можна знайти елемент, що є причиною відхилення. Тоді обробити дві площини під кутом  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ .

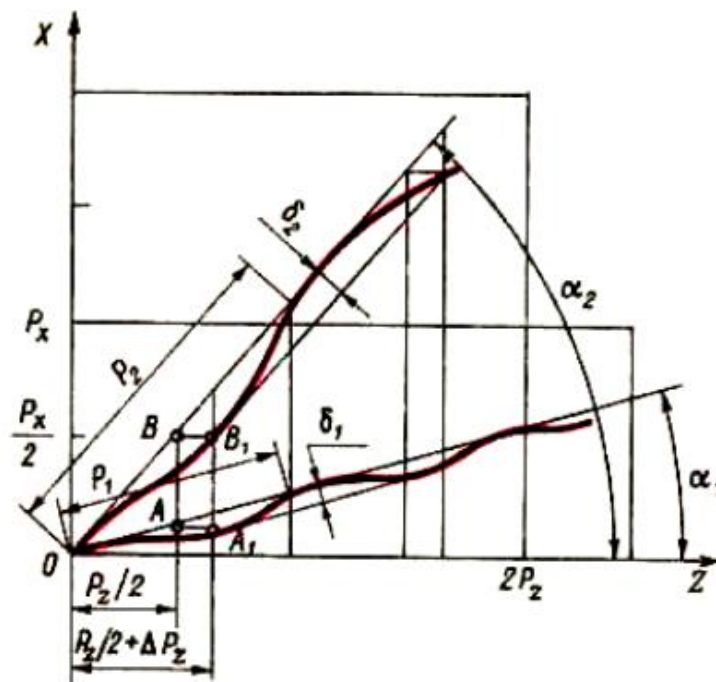


Рисунок. 2.3. Утворення відхилення за лінійної інтерполяції

Якщо кут нахилу траєкторії руху невеликий до однієї з осей, то висота і крок хвилі будуть меншими, ніж у випадку більшого кута нахилу. Суттєвий вплив на відхилення виникає від елементів приводу, які взаємопов'язані та працюють на одній вісі. Якщо фактор, що призводить до помилки, пов'язаний з ходовим гвинтом, шестернями та коефіцієнтом передачі, то проекція хвилі на цю вісь матиме крок, який дорівнює вказаному коефіцієнту передачі.

Під час виготовлення виробів по круговому контуру за допомогою УЧПК і лінійних інтерполяторів важливо враховувати відхилення апроксимації та закріплення заготовки. Для визначення положення опорних точок при підготовці керуючого коду використовується апроксимація кіл з урахуванням похибки. Застосування методу підвищення точності полягає в зменшенні кроку апроксимації (кута  $\Delta\phi$ ). Це обумовлено тим, що зменшення розміру дуги вдвічі призводить до зменшення похибки апроксимації в 4 рази.

Відхилення установки визначається як сума відхилень бази та закріплення. Ці відхилення розглядаються як вектори і обчислюються геометрично. Відхилення бази виникає внаслідок того, що установочна база не збігається з вимірювальною.

Корпусний виріб, який використовує площини K і L для вимірювань, повинен мати бази, які відносяться до цих самих площин для досягнення максимальної точності обробки, згідно з традиційними концепціями. Це призводить до поєднання вимірювальних баз і технологічних баз, які визначають розміри a, b, c, d. Хоча верстати з числовим програмним управлінням можуть забезпечити більш точні результати обробки, якщо в одній установці обробляються як вимірювальні бази, так і поверхні, розміри яких вимірюються від цих баз (див. Рис. 2.7).

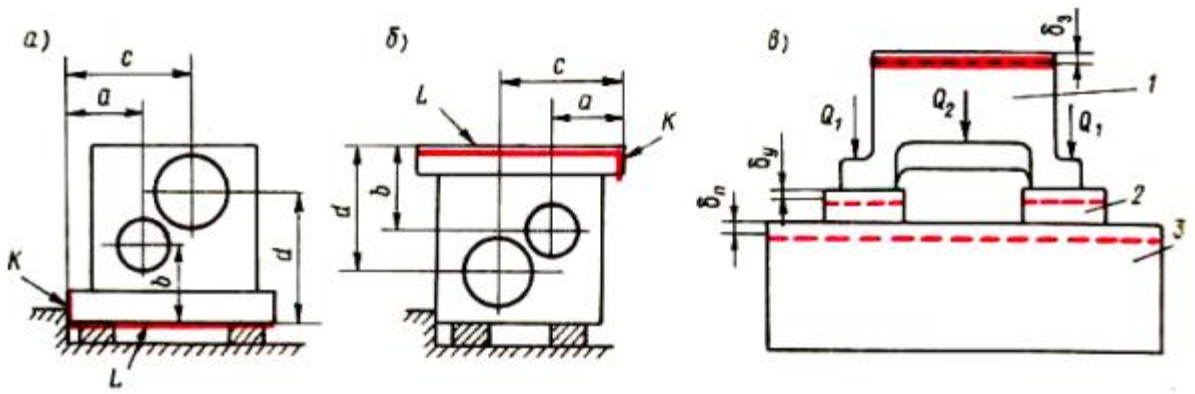


Рисунок 2.4. Базування і встановлення корпусних деталей: а) базування при застосуванні технологічних та вимірювальних баз; б) базування за одну установку; в) можливе відхилення закріплення деталі.

Під час виготовлення виробу за даною концепцією спочатку проводять обробку поверхонь К і L, і лише після цього переходять до обробки всіх інших деталей, включаючи отвори, як показано на Рис. 2.7 (2-а).

Можливий спосіб, при якому останніми обробляються площини К і L, включає використання менш відповідальних площин, які часто залишаються необробленими після різання на багатоцільових верстатах. Під час кріплення заготовки 1 (див. Рис. 2.7) може виникнути відхилення через вплив затискних сил, що призводить до зміщення. Зокрема, може відбутися відхилення закріплення. Зміщення заготовки з місця визначається установчими частинами пристроїв і виникає внаслідок пружинних деформацій окремих елементів ланцюга: заготовки 1, встановлювальних елементів 2 і пристрою 3. Великі зміни в точках контакту базових поверхонь деталі відбуваються з установочними частинами пристроїв.

Якщо зміна поверхневих шарів у всіх деталей партії була б однаковою, можна було б враховувати це під час налаштування верстата, застосовуючи корекцію інструменту чи інші відомі методи налаштування. Однак, через те що якість поверхонь нерідномірна і нестабільна, питомі навантаження при обробці будуть відрізнятися для кожної деталі у партії. Відхилення закріплення визначає різницю між максимальним і мінімальним зміщеннями вимірювальної бази та виготовленими деталями у партії.

При налаштуванні розміру металорізальних інструментів, не зважаючи на високу точність сучасних пристроїв, завжди існують певні похибки. Ці похибки виникають через відхилення самого приладу ( $\delta_1, \dots, \delta_5$ ) та відхилення закріплення на верстаті, на якому здійснюється налаштування, що налагоджено на визначений розмір ( $\dots, \delta_6, \dots, \delta_8$ )

Переміщення вершини інструменту може бути розглянуто як випадкова величина, і величина відхилення вимірюється відносно певного центрального значення на розмір:

$$\delta_n = \left[ \begin{aligned} &(k_1\delta_1)^2 + (k_2\delta_2)^2 + (k_3\delta_3)^2 + (k_4\delta_4)^2 + (k_5\delta_5)^2 + \\ &+ (k_6\delta_6)^2 + (k_7\delta_7)^2 + (k_8\delta_8)^2 \end{aligned} \right]^{1/2} \quad (2.9)$$

де  $\delta_1$  - відхилення показників відліку приладу;  $\delta_2$  - відхилення від встановлених розмірів;  $\delta_3$  - невірне попадання вершини металорізального інструменту утворює перетин з екраном проектора;  $\delta_4$  - недоліки у взаємодії початків відліку поділок та приладів для кріплення металорізального інструмента потребують уточнень і вдосконалення.;  $\delta_5$  - недоцільне розташування кріпильних елементів на корпусі пристрою для закріплення металорізального інструменту;  $\delta_6$  - різниця в початку відліку координат металорізального інструмента виникає через відмінності в розташуванні поверхонь, які служать основою для металорізального інструмента на верстаті;  $\delta_7$  - відхилення, яке виникає внаслідок неправильного кутового положення базових поверхонь на верстаті;  $\delta_8$  - відхилення виникають через деформацію елементів, які утримують металорізальний інструмент;  $k$  - коеф., що враховують правила розподілу відхилень.

Розмір металорізальних інструментів можна визначити шляхом проведення розрахунків для забезпечення точності регулювання. Під час цього процесу ми використовуємо метод обчислень для забезпечення правильності



налаштувань:  $\delta_1 = 1,5\text{мкм}$ ;  $\delta_2 = 1\text{мкм}$ ;  $\delta_3 = \delta_4 = \dots = \delta_8 = 3\text{мкм}$ ;  $k = k_1 = \dots = k_8 = 1$ ;  $\delta_i = 7,5\text{мкм}$ .

Відхилення  $\delta_6$ ,  $\delta_7$  та  $\delta_8$  не враховуються та не відшкодовуються при налаштуванні металорізального інструменту розмірні відхилення через те, що один і той самий інструмент може використовуватися на кількох верстатах з різними похибками.

Відхилення налаштування верстата на розмір включає у себе збалансоване установлення налаштованого металорізального інструменту, робочих частин верстата та елементів, що базуються на пристрої, в необхідному положенні. Це положення має гарантувати забезпечення бажаного розміру виготовленого виробу з вказаним допуском, незважаючи на можливі фактори, що можуть виникнути під час обробки. Відхилення налаштування верстата виникає тому, що при встановленні нуля програми та закріпленні інструментів у верстаті не завжди можливо точно виставити робочі елементи верстата та металорізальні інструменти в розрахункове положення.

Відхилення налагодження верстата визначається як різниця між допустимими значеннями встановлювального розміру. Це відхилення залежить від ряду факторів, таких як відхилення налагодження металорізального інструменту від заданого розміру, правильне виставлення початкового розміщення програми, точність зняття розмірів пробних деталей партії під час налагодження та зміщення центру групування перших виробів відносно середини поля розкидання під час процесу налагодження:

$$\delta_n = \left[ (k_i \delta_i)^2 + (k_0 \delta_0)^2 + (k_{\text{вим}} \delta_{\text{вим}})^2 + (k_{\text{розрах}} \delta_{\text{розрах}})^2 \right]^{1/2} \quad (2.10)$$

де  $k_i = k_0 = k_{\text{розрах}} = 1.0 - 1.73$ ;  $k_{\text{вим}} = 1.0$ ;  $\delta_{\text{розрах}} = 3 \sigma_n n^{1/2}$ ;

де  $n$  - к-ть пробних виробів,  $\sigma_n$  - середньоквадратична похибка.

Покращення якості налаштування відбувається при збільшенні кількості експериментальних зразків. Проте важливо враховувати, що при виробництві

невеликих партій кількість доступних експериментальних зразків обмежена, часто до одного. Для отримання високоякісного першого експериментального виробу з мінімальним витратами часу необхідно встановити нульове положення програми і за допомогою висококваліфікованих коректорів положення отримати необхідні розміри.

Залежно від очікуваної зміни розмірів, налаштовуючи інструменти, слід встановлювати їхні розміри так, щоб вони розташовувалися на відстані приблизно  $1/5$  від граничних меж поля допуску. Для металорізальних інструментів, які обробляють зовнішні поверхні, важливо розміщувати їх ближче до меншої межі поля допуску, з урахуванням розмірного спрацювання. З іншого боку, інструменти, які обробляють внутрішні контури, слід налаштовувати ближче до більшої межі поля допуску.

Ефективне використання металорізального інструменту в процесі обробки може значно впливати на точність та якість обробки, особливо при виготовленні виробів з жаростійких і жароміцних металів. Спрацювання інструменту має велике значення, оскільки воно визначає ступінь зносу та забезпечує стабільність процесу обробки.

Загальна систематична похибка обробки  $\Delta C_2 = 2\Delta C_1$ .

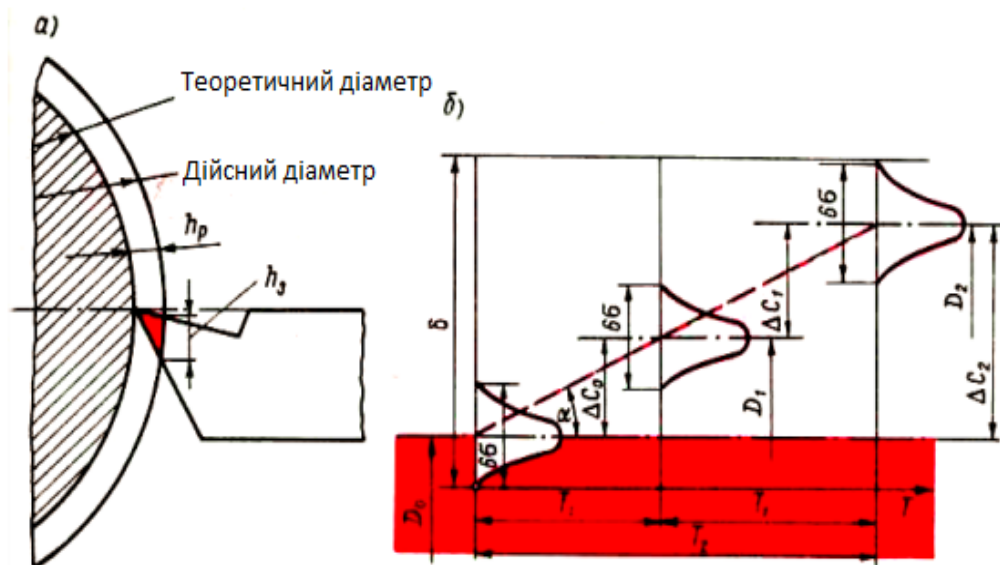


Рисунок 2.5. Схема спрацювання металообробного інструменту: а) відхилення розмірів деталі; б) зміщення поля розкиду розмірів деталі.

Щоб уникнути відхилень розмірів виробу за межі допуску, необхідно налаштувати верстат. У даному випадку час налаштування становить  $X$ , і металорізальний інструмент слід зсувати в радіальному напрямку на  $Y$  під час цього процесу. Ця настройка компенсує радіальні відхилення металорізального інструменту, а потім поле розкидання повертається у вихідне положення. Загалом, систематичні відхилення коригуються під час налаштування.  $\Delta C = \tan \alpha T$ , де  $\tan \alpha$  - інтенсивність спрацювання інструменту на верстаті.

Під час автоматичного підналагодження, розмірна корекція встановлюється автоматично, відповідно до програми, яка контролює процес обробки металу. Оператор не втручається в цей процес, і система автоматично коригує розміри виробів на підставі передбачених параметрів та стандартів якості. Це дозволяє забезпечити високу точність та однаковість виготовлених деталей.

#### **2.4 Дослідження і контроль якості обробки заготовок та деталей на верстатах**

Дії зазначених факторів, що впливають на якість обробки, викликають утворення відхилень обробки, що мають свої назви та визначення згідно з ДСТУ 15895. Відхилення виробництва продукції – це розходження реального значення параметра виготовленої продукції від визначеного початкового значення, встановленого нормативно-технічною документацією. Систематичні похибки виробництва продукції - це частина відхилень виготовлення продукції при незмінних умовах, що залишається або підпорядковується закономірностям щодо зміни модуля чи знаку. Розрізняють два типи таких похибок: постійну систематичну і змінну систематичну. Постійна систематична похибка виробництва продукції - це систематичне відхилення виготовлення продукції, яке не змінює модуль і знак. Це відхилення виникає

внаслідок постійних факторів і залишається незмінним при виробництві однієї або кількох партій виробів.

Існують різноманітні причини постійних систематичних відхилень у виробництві деталей. Одна з них - конусність обробленої поверхні, яка виникає внаслідок неправильного розміщення центрів обертання або неідеальної паралельності осі шпинделя та напрямної станини при фрезеруванні в триточковому самоцентруючому патроні. Також може відбуватися відхилення міжосьової відстані отворів, оброблених на токарному верстаті, через невірні розміри вирівнюючих втулок. Інші фактори включають відхилення діаметрів отворів внаслідок невірностей у розмірах розвертки, зенкера або свердла, а також відхилення форми, яке може виникнути під час установки тонкостінної заготовки в пристрої.

Систематичне відхилення виготовлення продукції - це сталий характер відхилень, які систематично змінюються за модулем та/або знаком. Факторами, що спричиняють такі відхилення, можуть бути нерівномірне зношування металорізального інструменту, теплові деформації верстата, металорізального інструменту, обладнання, матеріалу заготовки, відхилення форми початкової заготовки та інше. Випадкове відхилення виготовлення продукції представляє собою випадковий характер відхилень, які випадковим чином приймають різні значення за модулем та/або знаком при стійких умовах. Такі відхилення можуть виникати через різноманітність або зміни розмірів припуску на обробку, зміни значень механічних властивостей та нестабільність матеріалів заготовок, зміни параметрів сили різання та різне закріплення заготовок у пристроях, зміни теплового режиму обробки та зношування ріжучого інструменту.

Розкидання розмірів деталей в результаті випадкових відхилень підпорядковане аналізу методів математичної статистики. Для виявлення та розгляду закономірностей у розподілі розмірів заготовок використовуються відповідні підходи. Загальне відхилення обробки може бути виражене у вигляді наступної функціональної залежності:

$$\Delta_{\Sigma} = f \left( \sum \Delta_i^{nocm}; \sum \Delta_k^{nep}; \sum \Delta_m^{sun} \right), \quad (2.11)$$

де  $\sum \Delta_i^{nocm}$  - постійне відхилення;  $\Delta_{\Sigma}$  - загальне відхилення;  $\sum \Delta_k^{nep}$  - перемінне відхилення;  $\sum \Delta_m^{sun}$  - випадкове відхилення розміру.

Відхилення в розмірах і формі відносяться до непередбачуваних відмінностей. Сумарне відхилення, так само як і інші концепції, такі як надійність, є результатом випадкових подій, і для його обчислення застосовують методи математичного аналізу та теорії ймовірностей.

## 2.5 Забезпечення якості виробництва на верстатах з ЧПК

Можна досягти високої якості обробки заготовок на верстатах двома основними способами: шляхом експериментів та вимірювань або за допомогою автоматичного виведення розмірів на налагоджених верстатах.

Перший спосіб використовується у виробництві одиночних та невеликих серій деталей, в той час як другий метод застосовується у масовому та серійному виробництві. В обох випадках досягнення потрібної точності супроводжується виробничими відхиленнями, які виникають з різних причин. Ефективність обробки великою мірою залежить від правильного вибору коефіцієнта якості налаштування. Сукупність методів для визначення відповідного коефіцієнта якості налаштування називається розмірним налаштуванням металорізального інструменту.

Описаний метод представляє собою процес виробництва, базований на послідовних етапах дослідних ходів і вимірювань. Під час роботи з виробом здійснюється зріз пробного шару стружки, після чого верстат зупиняється для вимірювання отриманого діаметру. По результатам вимірювань вносяться корекції, і проводиться наступний пробний прохід. Цей процес повторюється кілька разів до досягнення бажаного розміру, після чого виробляється обробка заготовки по всьому контуру. При виготовленні іншого виробу весь процес установки металорізального інструменту повторюється шляхом послідовних

дослідних ходів і вимірювань. Важливо зауважити, що цей метод виявляється вкрай трудомістким у своєму виконанні.

Під час автоматичного виведення розмірів верстатів перед налаштуванням так налаштовують, щоб досягти потрібної точності, незалежно від рівня досвіду та навичок оператора. Завдання досягнення визначеної якості покладається на налаштовувальника, який попередньо налаштовує верстат, інструментальника, що виготовляє пристрої, і технолога, що вибирає технологічні бази, шляхи виставлення і закріплення деталей та режими різання. Суть методу полягає в розрахунку переходів робочого органу та розв'язку розмірних ланок для визначення точності переходів. Розмірний ланцюг представляє собою суму взаємопов'язаних розмірів, створюючи замкнутий контур. Замкнутість розмірної ланки означає, що розміри, які в неї входять, пов'язані між собою, і точність хоча б одного з цих розмірів визначається іншими. Розміри, що входять до розмірного ланцюга, є його елементами. Після зміни розмірів складових елементів змінюються розміри кінцевого елемента. Ланцюг стає лінійним, якщо всі його елементи паралельні один одному.

## Розділ 3. Підвищення ефективності виробництва деталей на верстатах з ЧПК

### 3.1 Особливості роботи на фрезерному верстаті з ЧПК

Фрезерні верстати призначені для виготовлення складних деталей з плоских і фасонних поверхонь. Вони використовуються для обробки матеріалів за допомогою різців або фрез. Фрезери з ЧПК мають схожу конструкцію з традиційними верстатами, відмінність полягає у використанні автоматизованого управління рухами робочих органів за допомогою комп'ютерних програм. Ці верстати бувають вертикальні та горизонтальні залежно від розміщення шпинделя. Також вони можуть мати від 1 до 5 керуючих осей, що визначає кількість координат, якими можна управляти. Деякі верстати мають нерухомий стіл, тоді як інші оснащені рухомим столом. Привід головного руху контролюється програмою, яка може автоматично закріплювати заготовки для обробки. Це виокремлює фрезерні верстати з ЧПК як високоточні та ефективні інструменти в механічному виробництві.

Найпоширеніші сучасні вертикальні фрезерні верстати з ЧПК мають станину (1), яка використовується для закріплення всіх вузлів та механізмів верстата. Робочий стіл (2) може переміщатися вздовж та поперек завдяки сталевим рейкам, відомим як напрямні (3). Пульт керування, або стійка ЧПК (9), закріплена на кронштейні, може змінювати своє положення для зручності обслуговування оператором.

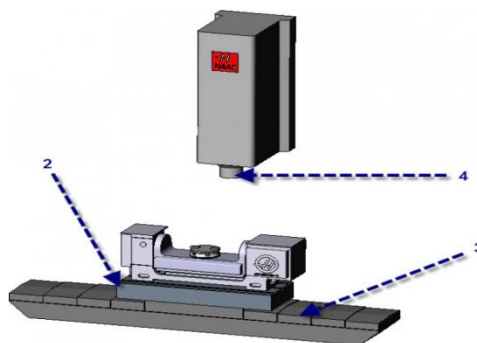


Рисунок. 3.1. Елементи будови фрезерного верстата



На робочому столі розміщують заготовки та різноманітні пристрої, для яких є спеціальні пази у формі "Т". Шпиндель (4) використовується для фіксації металорізального інструменту та забезпечення його обертання. Шпиндель розташований на колоні (5), яка може виконувати вертикальні рухи (вгору/вниз). Точність обертання шпинделя, його стійкість до вібрацій і жорсткість мають значення для точності та якості виготовлення деталей.

Захисні кожухи (7) служать для захисту робітника від стружки та мастильно-охолоджувальної рідини (МОР), яка потрапляє в зону різання під тиском і може відбиватися від поверхонь верстата. Двері (6) надають доступ до робочої зони верстата. У барабані інструментів (8) знаходиться асортимент металорізальних інструментів. Для вибору конкретного інструменту та його закріплення у шпинделі використовується програмно керований пристрій автоматичної заміни інструменту.

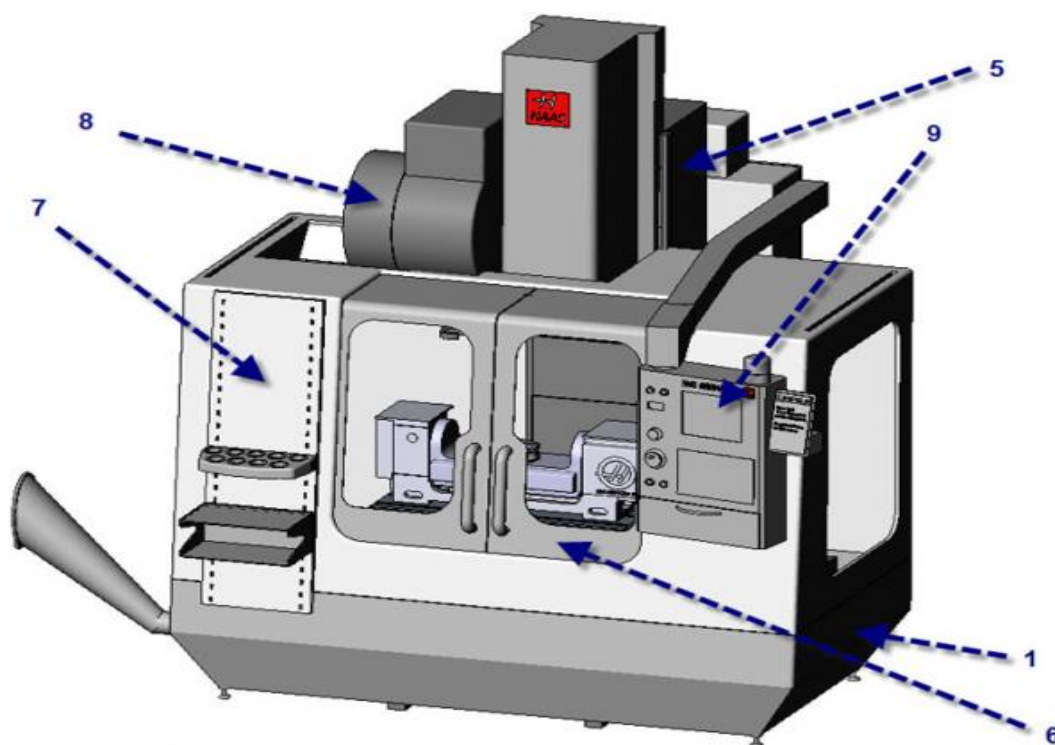


Рисунок. 3.2. Елементи будови фрезерного верстата

### 3.2. Обробка деталі на фрезерному верстаті ЧПК

У ЧПК-верстатах управління здійснюється через програмний накопичувач, де зберігається геометрична та технологічна інформація у числовому форматі. Системи ЧПК включають спеціальні пристрої, методи та засоби, необхідні для операцій верстата. Вони призначені для надсилання керуючих команд виконавчим органам верстата згідно з програмою управління.

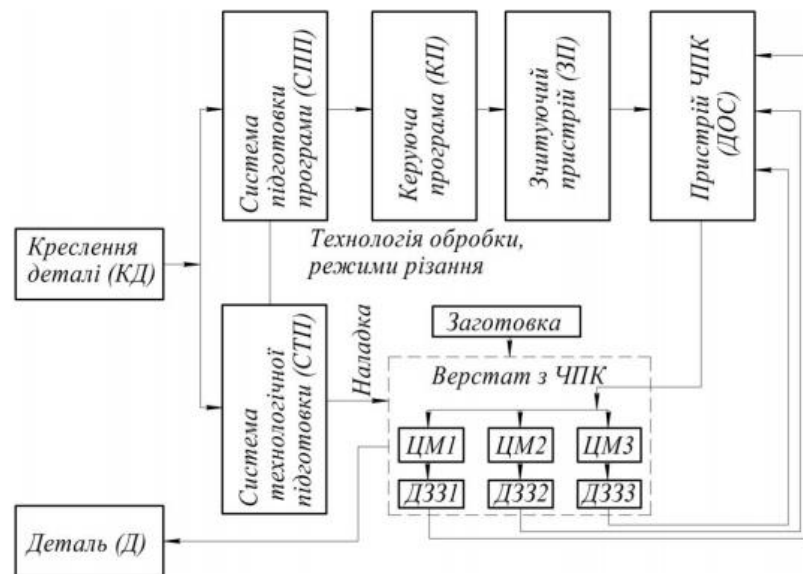


Рисунок. 3.3. Система роботи верстата ЧПК

Коли деталь має бути оброблена на верстаті, інформація про неї подається одночасно до системи підготовки програм та системи технологічної підготовки. Система технологічної підготовки надає необхідні дані для розробки керуючої програми, такі як технологічні процеси, режими різання та інша інформація. За цими даними генерується керуюча програма (КП). Після цього налагоджувальники встановлюють на верстаті необхідні пристрої та металорізальні інструменти згідно з документацією від системи технологічної підготовки. Оператор встановлює заготовку і знімає готовий виріб. Зчитувальний пристрій (ЗП) отримує інформацію із програмного носія. Дані подаються на пристрій числового програмного керування, який висилає керуючі команди на цільові механізми (ЦМ) верстата, виконуючи основні та

додаткові рухи у процесі обробки. Пристрій ЧПК, заснований на отриманій інформації, управляє рухом цільових механізмів. У верстаті існує конкретна кількість цільових механізмів, кожен з яких обладнаний двигуном, що виконує функцію джерела енергії. Робота цих двигунів полягає в перетворенні енергії та передачі її до робочого органа. Система числового програмного керування може змінюватися в залежності від типу програмного носія, методу кодування даних у керуючій програмі (КП) і шляху передачі її в систему ЧПК. Пристрій ЧПК може бути розміщений поруч із верстатом або безпосередньо на ньому. Двигуни, які керують подачею матеріалу на верстаті, мають спеціальну конфігурацію і входять в систему числового програмного керування. Усі дані, необхідні для обробки заготовки на верстаті з ЧПК, зчитуються з керуючої програми. Ця програма містить геометричну і технологічну інформацію. Геометрична інформація включає в себе розташування опорних точок траєкторії руху металорізального інструмента. Технологічна інформація містить дані про порядковий номер металорізального інструмента, швидкість та подачу. Програмну інструкцію для управління верстатом записують на програмний носій. Важливою технічною характеристикою систем числового програмного керування є їх дискретність, тобто найменший можливий розмір лінійного і кутового переміщення верстата за один керуючий імпульс. Зазвичай ця дискретність становить 0,01 мм/імпульс, але сучасні системи вже використовуються з роздільною здатністю 0,001 мм/імпульс, що підвищує точність управління під час виробничих операцій.

### **3.3 Покращення якості обробки заготовок і деталей на фрезерному верстаті з ЧПК**

Успішність виробництва компонентів на верстатах із числовим програмним управлінням визначається результатами досліджень та розробок в галузі технічних наук, а також відображається у економічних, організаційних і технічних показниках.

Оцінка варіантів технологічного процесу здійснюється шляхом порівняння їх собівартості, яка включає в себе вартість агрегату в цілому, витрати на виготовлення окремих деталей та вартість окремих технологічних операцій [26]. Порівняння варіантів проводиться за різними критеріями, такими як трудомісткість, коефіцієнт використання матеріалу, коефіцієнт завантаження устаткування та інші параметри.

Розглянемо вплив організаційного чинника на економічну ефективність управління числовою програмою. Покращення процесів планування завантаження, своєчасне забезпечення матеріалами, ефективне управління програмами та налагодженням металорізального інструменту верстата всі ці чинники сприяють підвищенню коефіцієнта завантаження верстата і, отже, його продуктивності.

Оптимальний вибір деталей за їхньою трудомісткістю виготовлення та раціональне розташування верстатів сприяють впровадженню багатостаночного обслуговування. Наприклад, впровадження двохверстатного обслуговування дозволяє зменшити потребу в робітниках-станочниках вдвічі. Цей організаційний підхід призводить до поліпшення ряду критеріїв, таких як річний економічний ефект, собівартість, підвищення продуктивності, зменшення чисельності кваліфікованих працівників та їхнє перерозподілення на посади технологів-програмістів.

Ефективність виготовлення деталей на верстатах з числовим програмним керуванням залежить від безлічі чинників. Недотримання важливих показників та взаємопов'язаних параметрів може призвести до негативних економічних наслідків. Якщо цикли обробки та їх параметри не визначені належним чином, використання ЧПК-верстата може призвести до непродуктивного результату. З іншого боку, вірно налаштований ЧПК-верстат може призводити до позитивних результатів, зокрема, зниження коефіцієнта завантаження до 0,85 при збільшенні продуктивності на 180%.

Показники економічної ефективності виготовлення деталей на верстатах з ЧПК є такі: тривалість окупності витрат  $T_{ок}$ , ефект економічний  $E_p$ , ефект за час служби верстатів  $E_{об}$  та зменшення собівартості виробу  $\Delta C$ .

Зниження собівартості виробництва після впровадження додаткових параметрів у керуючу програму циклу обробки на верстатах з ЧПК оцінюється шляхом порівняння зменшення витрат із додатковими капітальними інвестиціями. Основним економічним показником ефективності виготовлення на ЧПК-верстатах є мінімальні приведені витрати:

$$\Pi = C + E_n K, \quad (3.1)$$

де  $E_n$  - показник капітальних вкладень ( $E_n = 0.12$ );  $C$  – собівартість виробництва;  $K$  – величина капітальних вкладень на виробництво.

Порівняння витрат, пов'язаних із виготовленням деталей на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК), дозволяє отримати уявлення про економічну ефективність виробництва протягом певного періоду. Для визначення фактичної ефективності використання удосконалених ЧПК слід застосовувати метод порівняння витрат з витратами на обробку, що визначені попереднім технологічним процесом.

Економічний прибуток, отриманий за один рік в результаті впровадження одного верстата з ЧПК, оцінюється як різниця між приведеними витратами на виробництво однакової кількості продукції протягом року:

$$E_p = \Pi_1 - \Pi_2 = (C_1 + E_n K_1) \beta - (C_2 + E_n K_2), \quad (3.2)$$

де  $\Pi_1$  і  $\Pi_2$  - приведені затрати протягом року експлуатації;  $C_1$  та  $C_2$  - собівартість виробництва деталей, за рік;  $K_1$  і  $K_2$  - величина капітальних вкладень обладнання, приміщення та оснастка, програми і навчання працівників;  $\beta$  - коеф. приведення витрат річної к-ті виробництва на верстаті з числовим програмним керуванням:

$$\beta = xy, \quad (3.3)$$

де  $X$  - коеф. продуктивності верстата з числовим програмним керуванням;  $Y$  - коеф. відношення річного робочого часу верстата з ЧПК з врахуванням зміни режимів обробки.

За допомогою цієї формули можна визначити, що зростання коефіцієнта приведення, зниження собівартості  $C_2$ , а також додаткові інвестиції в капітал  $K_2$  та виробничі ресурси призведуть до збільшення економічного ефекту протягом року.

Збільшення інвестицій у капітальні активи  $K_2$  спричинює зменшення річного заощадження. Капітальні інвестиції у виробничі ресурси  $K$  включають в себе інвестиції в основні фонди та оборотні кошти. Основні фонди включають витрати на обладнання, приміщення для зберігання обладнання, службово-побутові об'єкти, забезпечення для складання та контролю капітальних проектів. Оборотні кошти використовуються на поточні потреби, такі як пристосування, капітальні проекти, незавершене виробництво та навчання персоналу.

Не всі складові капітальних витрат будуть збільшуватися під час переміщення виробництва деталі на високотехнологічний верстат з числовим програмуванням.

Окупність капітальних вкладень  $T_{ок}$  в роках визначають за формулою:

$$T_{ок} = \frac{K_2 - \beta K_1}{\beta C_1 - C_2}, \quad (3.4)$$

Ефективність виробництва на верстаті з ЧПК може бути покращена за умови:

$$T_{ок} < \frac{1}{E_n} \quad (3.5)$$

Якщо коеф.  $E_n = 0,12$  окупність складе  $T_{ок} < 8.3$  років.

Економічний прибуток  $E_p$ , який одержує користувач протягом всього періоду використання верстата з числовим програмним керуванням (ЧПК), обчислюється за допомогою наступної формули:

$$E_p = \frac{E_{об}}{\alpha \left( \frac{1}{T_2} + E_n \right)} \quad (3.6)$$

де  $\alpha = 1,1$  – коеф., затрат на доставку та монтаж обладнання;  $T_2$  – тривалість експлуатації нового верстата з ЧПК, визначається за допомогою стандартів амортизаційних відрахувань, які визначають період загального відновлення металорізального обладнання.

### 3.4 Збільшення продуктивності роботи верстата з ЧПК

Коефіцієнт підвищення продуктивності нового верстата з числово програмованим керуванням (ЧПК) порівняно з вихідним верстатом визначається за такою формулою:

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} t_{on1_i} P_{dem_i}}{\sum_{i=1}^{n_2} t_{on2_i} P_{dem_i}} \quad (3.7)$$

де  $t_{on1_i}$  і  $t_{on2_i}$  – час виробництва  $i$ -ї деталі на базовому верстаті та новому верстаті з числовим програмним управлінням (ЧПК) може бути виражений як фактичний час, необхідний для виготовлення даної деталі на обох типах верстатів., хв;  $P_{dem_i}$  – річний випуск деталей  $i$ -го найменування;  $n_2$  – кількість найменувань виробів, виготовлених на новому верстаті з ЧПК. Операційний час  $t_{on}$  визначається додавання основного  $t_0$  та додаткового  $t_g$  часу:

$$t_{on} = t_0 + t_g \quad (3.8)$$

Основний час використовується для оцінки зміни конфігурації і розмірів заготовки під час обробки. Його розраховують за допомогою формули:



$$t_0 = \frac{L_i}{S_m} \quad (3.9)$$

де  $L$  - розрахункова довжина обробки, яка визначається сумою довжин підведення  $l_{пд}$ , врізання  $l_{вр}$ , обробки  $l$  і довжини сходу  $l_{сх}$  металообробного інструменту;  $i$  - к-ть проходів;  $S_m$  - подача.

Під час обробки фрезеруванням у один прохід, наприклад, використовуючи кінцеву фрезу для обробки дискового кулачка на фрезерному верстаті з механічним копінгом і обертовим столом, який рухається з постійною швидкістю, загальний технологічний час можна розрахувати за формулою аналогічної структури:

$$t_0 = \frac{\varphi}{\omega} = \frac{L}{S_{кр}} \quad (3.10)$$

де  $\varphi$  - кут дуги, яка обробляється;  $\omega$  - швидкість кутова столу, який обертається, з встановленою заготовкою (рад /с);  $L$  - довжина дуги кола, яка рівна куту  $\varphi$ ;  $S_{кр}$  - величина швидкості кругової подачі, на колі радіусом  $R$ , за формулою:  $S_{кр} = \omega R$

Кут визначається за формулою:

$$\varphi = \frac{L}{R} \quad (3.11)$$

де  $R$  - радіус столу, який обертається з швидкістю  $S_{кр}$ .

Обробка кінцевою фрезою на фрезерному верстаті з ЧПК, що управляється лінійним інтерполятором, включає деякі особливості, які залежать від ряду аспектів. Перш за все, криволінійний контур деталі, такої як дисковий кулачок, розбивається на прямолінійні елементи через лінійну апроксимацію. Для кожного такого елемента програмується відповідний кадр у керуючій програмі. Під час зчитування та введення керуючої інформації виникають моменти зупинок між закінченням введення даних одного кадру та

початком введення з наступного. Ці перерви в часі відомі як міжкадрові паузи. Вони виникають відповідно до умов, заданих параметрами системи числового програмного керування та обсягом керуючих даних. Цей процес дозволяє ефективно керувати фрезеруванням криволінійних деталей, забезпечуючи точність та плавність обробки за умови відповідного програмування кожного елементарного прямолінійного елемента контуру.

Міжкадрові паузи можуть виникати і в інших ситуаціях обробки деталей. Особливо це стосується обробки криволінійних контурів за допомогою металорізального інструмента на верстаті з числовим програмуванням та лінійною інтерполяцією. Інтервали міжкадрових зупинок  $t_{omn}$  можна описати відповідною залежністю:

$$t_{omn} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{60l_i}{S_{M_i}} + (n-1)t_n \quad (3.12)$$

де  $l_i$  - довжина  $i$ -го елемента лінійної апроксимації, мм;  $S_{M_i}$  - подача обробки  $i$ -го елемента апроксимації;  $n$  - к-ть ділянок апроксимації;  $t_n$  - величина міжкадрової зупинки, с.

Коли існують залежності між основним та оперативним часами, визначення штучного часу за формулою:

$$t_{um} = t_{on} + t_{ob} + t_{\partial} \quad (3.13)$$

де  $t_{\partial}$  - час, необхідний на потреби та зупинки для відпочинку;  $t_{ob}$  - час обслуговування виробничого місця.

Час, витрачений на обслуговування робочої ділянки, включає в себе такі операції, як заміна зношеного ріжучого інструменту, видалення стружки з робочих органів, заміна мастила і очищення обладнання, а також порядкування на робочому місці та виконання інших відповідних завдань.

Тривалість виготовлення кожної окремої деталі визначається відповідно до чинних норм штучного часу  $t_{umi}$  без часу на обслуговування  $t_{\partial}$ , зупинок

на перепочинок  $t_{\partial}$  і застосуванням коеф. виконання норм  $t_{\partial}$  за наступною формулою:

$$t_{on_i} = \frac{t_{um_i}}{K_{B.H} K_0} \quad (3.14)$$

де  $K_0$  - коеф., який враховує часи  $t_{об}$  та  $t_{\partial}$

За відсутності необхідної інформації розробляється технологічний процес та визначається час виготовлення на базових та нових верстатах. Важливий вплив на покращення ефективності виготовлення на верстатах з ЧПК забезпечується за рахунок впровадження багатостатного обслуговування.

Багатостатне обслуговування є методом, при якому один робітник працює на кількох верстатах, сприяючи підвищенню продуктивності за певних умов. Однією з ключових умов є зменшення простою верстатів під час очікування дій оператора. Це досягається ефективним розміщенням обладнання для скорочення шляху оператора, оптимальною організацією робочої зони багатостатника та правильним вибором виробів для виготовлення на верстатах з ЧПК. Підбір виробів і їх технології виготовлення повинні забезпечити оптимальний час технологічного циклу обробки на кожному верстаті. Зазвичай таке обслуговування ефективне, коли час обробки становить 6-8 хв і більше, що гарантує безперервну роботу без простою.

Однією з перешкод для покращення ефективності багатостатного обслуговування верстатів з числовим програмним керуванням є необхідність додаткових переміщень робочих органів. Це включає виправлення виготовлення деталей за допомогою програми, низьку надійність верстатів і пристроїв з ЧПК, а також необхідність регулярного прибирання стружки з зони різання.

Аналіз доцільності переходу на обслуговування складних верстатів з числовим програмним керуванням повинен бути проведений детально. Використання верстатів з ЧПК приносить значні вигоди, особливо якщо вони

обслуговуються та налаштовуються висококваліфікованим фрезерувальником. Ефективність обслуговування декількох верстатів з ЧПК, таких як токарні чи фрезерні, значно підвищується за умови раціональної організації процесу. Наприклад, ефективним може бути обслуговування двох верстатів з ЧПК одним робітником.

Підвищення ефективності праці в значній мірі залежить від кількості верстатів, які можуть бути обслуговані одночасно. Значні можливості для підвищення продуктивності полягають у вдосконаленні верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) та їх обладнанні автоматизованими інструментальними магазинами для автоматичної заміни ріжучих інструментів і револьверних головок.

Важливе значення в підготовці до багатостатного обслуговування та збільшенні продуктивності праці робітника полягає в розв'язанні завдання автоматичного розвантаження та завантаження верстатів, які використовують числове програмне керування. Спеціальний пристрій автоматичного завантаження-розвантаження встановлюється на верстаті та керується пристроєм числового програмного керування за тією ж програмою, яка використовується для управління процесом обробки [22]. Кожен робітник може одночасно обслуговувати два верстати. Використання автоматичного завантаження та розвантаження призводить до збільшення часу безперервної роботи верстата без прямого втручання робітника, а також до зростання кількості верстатів, які можуть бути обслуговані одночасно при максимальному використанні їхнього робочого часу.

### **3.5 Програмування виготовлення корпусної деталі на верстаті з числовим програмним керуванням**

У програмному середовищі САМ системи Mastercam було створено об'ємну модель деталі. Також в цій системі була розроблена робоча програма для виготовлення прототипу деталі. Керуючий код для цієї програми був згенерований за допомогою програмного середовища CIMCO Edit, яке

конвертує задані операції та траєкторії у програмний код, що використовує G-КОДИ.

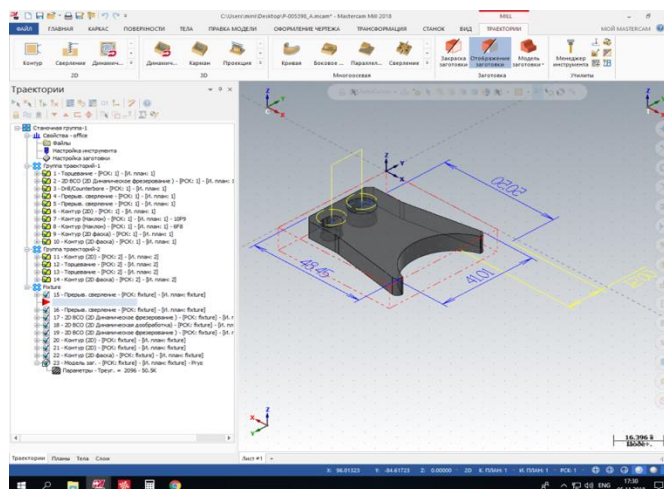


Рисунок. 3.4. 3-D модель деталі в середовищі САМ програми Mastercam.

На виробництві велика відповідальність за виготовлення деталі на верстаті з числовим програмним керуванням покладається на налагоджувальника-програміста. Йому необхідно виконати креслення та написати керуючу програму, враховуючи особливості обладнання підприємства. Крім того, цей спеціаліст має вміло підбирати металорізальний інструмент для оптимальної обробки, враховуючи наявну матеріально-технічну базу підприємства.

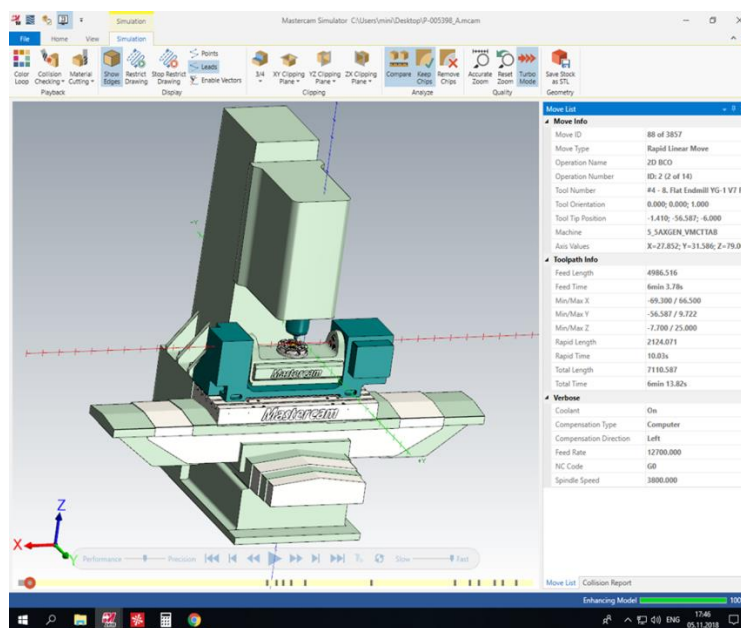


Рисунок 3.5. Обладнання для виготовлення корпусної деталі

Деталь має бути створена відповідно до вказаних розмірів та вимог, які замовник визначає на робочому кресленні виробу. Замовник уточнює допуски на розміри, шорсткість поверхні, матеріал для виготовлення деталі та масу одиниці (рис. 3.6).

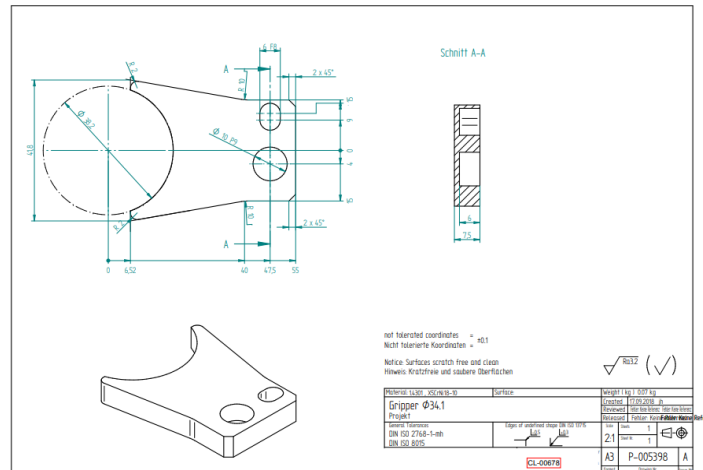


Рисунок 3.6. Робоче креслення деталі з технологічними вимогами.

За допомогою постпроцесора, програміст створює керуючий код для конкретного верстата, який містить G та M коди, а також координати опорних точок для траєкторії руху робочого інструменту. Цей код записується на програмний носій, який потім використовується для зчитування інформації на пульті керування верстата. Після налаштування закріплення та виставлення заготовки можна розпочинати обробку деталі.

Фрагмент G-коду:

%	N736 G1 Y3.518
O00(P-005398A)	N737 G2 X-46.485 Y6.818 I3.3 J0.
(OBS G58 POSITIONRING AV BOR)	N738 X-45.912 Y6.768 I0. J-3.3
(-----)	N739 G1 X-15.636 Y1.432
( T10   50. / 45. FACE MILL ZC  M    H10 )	N740 G3 X-14.126 Y1.3 I1.51 J8.568
( T4   8. FLAT ENDMIL YG-1 V7 PLUS SORT  M    H4 )	N741 G1 X-2.
( T1   10 / 12 SPOT DRILL YG-1   H1 )	N742 G2 X-1.081 Y.919 I0. J-1.3
( T2   9 DRILL YG-1 SHORT   H2 )	N743 G1 X.919 Y-1.081
( T3   5 DRILL YG-1 SHORT   H3 )	N744 G2 X1.3 Y-2. I-.919 J-.919
( T5   5 FLAT ENDMILL ST SUS  M    H5   D5 )	N745 G1 Y-28.
( T7   4 / 9 CHAMFR MILL   H7   D7 )	N746 G2 X.919 Y-28.919 I-1.3 J0.
(-----)	N747 G1 X-1.081 Y-30.919
N10 G21 (METRISK POSITONERING)	N748 G2 X-2. Y-31.3 I-.919 J.919
N11 G0 G17 G40 G49 G80 G90	N749 G1 X-14.126
( 50. / 45. FACE MILL ZCC  M    T10   D10   H10   )	N750 G3 X-15.636 Y-31.432 I0. J-8.7
N12 T10 M6	N751 G1 X-45.912 Y-36.768
N13 G0 G90 G54 X-30. Y-25. S1100 M3	N752 G2 X-46.485 Y-36.818 I-.573 J3.25
N14 G43 H10 Z25. M8	N753 X-49.785 Y-33.518 I0. J3.3
N15 Z2.	N754 G1 Y-33.209
N16 G1 Z0. F40.	N755 G3 X-50.642 Y-31.371 I-2.4 J0

N17 X66.5 N18 G0 Z25. N19 M9 ..... ( 4. / 90. CHAMFER MILL   T7   D7   H7   ) N724 T7 M6 N725 G0 G90 G55 X-51.408 Y-35.691 S5500 M3 N726 G43 H7 Z25. M8 N727 Z0. N728 G1 Z-1.5 F1200. N729 G41 D7 X-50.642 Y-35.048 N730 G3 X-49.785 Y-33.209 I-1.543 J1.839 N731 G1 Y-32.901 N732 G2 X-48.929 Y-31.68 I1.3 J0. N733 G3 X-37.25 Y-15. I-6.071 J16.68 N734 X-48.929 Y1.68 I-17.75 J0. N735 G2 X-49.785 Y2.901 I.444 J1.221	N756 G1 G40 X-51.408 Y-30.728 N757 G0 Z25. N758 M9 N759 G90 N760 G53 Z0. N761 G53 Y0 X-230 N762 M30 %
---	--

Toolpath Info	
Feed Length	4986.516
Feed Time	6min 3.78s
Min/Max X	-69.300 / 66.500
Min/Max Y	-56.587 / 9.722
Min/Max Z	-7.700 / 25.000
Rapid Length	2124.071
Rapid Time	10.03s
Total Length	7110.587
Total Time	6min 13.82s

Рисунок 3.7. Характеристики виробництва деталі на верстаті HAAS Mini Mill.

Завдяки вбудованому в барабан усіх необхідних ріжучих інструментів та автоматичній їх заміні, допоміжний час зменшується до 10 секунд за один цикл обробки. Це значно підвищує ефективність верстату з числовим програмним керуванням та відчутно скорочує час виготовлення однієї деталі.



## **Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях**

### **4.1 Обґрунтування можливих чинників травмонебезпечних ситуацій.**

Під час робіт людина (як суб'єкт праці) за допомогою певних знарядь (машини, інструмент, пристрої тощо) діє на предмет праці в умовах різноманітних середовищ: механічні, хімічні, теплові, електричні, біологічні та інші. Організм людини здатний переносити без наслідків такі дії лише тоді, коли вони не перевищують певних рівнів і тривалості. За межами цих рівнів і тривалості виникає пошкодження організму, яке кваліфікується як нещасний випадок, травма тощо.

Поміж різних чинників виробництва, які можуть спричинити певні дії на людину, виділяють шкідливі і небезпечні виробничі чинники. Небезпечний виробничий чинник – це такий, дія якого на працюючих у певних умовах призводить до травми або іншого раптового погіршення здоров'я [4-6].

До фізичних небезпечних і шкідливих виробничих чинників належать: рухомі машини, механізми та окремі деталі; вироби, заготовки, матеріали; конструкції, що можуть руйнуватися; запиленість і загазованість повітря робочої зони; підвищена або понижена температура матеріалів та поверхонь обладнання, повітря робочої зони; високі рівні шуму та вібрації на робочому місці, наявність отрутохімкатів тощо.

Той чи інший виробничий чинник за певною межею може не спричиняти негативних наслідків. Тому існує поняття гранично допустимого рівня виробничого чинника – дія встановленої тривалості, що не призводить до травми чи захворювання у процесі роботи та у після робочий період. Виробнича безпека – стан виробництва (умови праці, стан обладнання, робочого місця тощо), при якому існує можливість (ймовірність) дії на працівників небезпечного виробничого чинника з пошкодженням здоров'я. Факт пошкодження здоров'я людини від дії небезпечного чинника кваліфікується як нещасний випадок [6].

Основним завданням безпечної експлуатації машинно-тракторного парку під час виконання робіт у рослинництві є забезпечення б дотримання вимог охорони праці під час робіт щодо наладки, комплектування та експлуатації сільськогосподарської техніки. Виконання цих завдань повинно забезпечуватись за рахунок наявних в господарстві кадрів, їх ефективної співпраці та техніки, що пройшла технічний огляд і відповідає вимогам нормативів з охорони праці.

Під час виконання робіт машинно-тракторним парком у рослинництві обслуговуючий персонал піддається дії шкідливого впливу виробничих чинників - мікроклімату робочої зони (температура, швидкість руху повітря, вологість, тиск, освітлення та світлове випромінювання), виробничому пилу, шуму, вібрації і токсичності відпрацьованих газів тощо.

Під час виконання ґрунтообробних виникає підвищена запиленість на робочому місці. Для захисту людини від шкідливої дії пилу необхідно застосовувати механізацію, автоматизацію виробничих процесів, герметизацію виробничих приміщень, кабін машин тощо. Дуже часто виробничий пил виділяється безпосередньо на робочих місцях і потрапляє в зону дихання людини, тому потрібно застосовувати засоби індивідуального захисту органів дихання, спецодяг, респіратори. Особливу небезпеку являють собою відпрацьовані гази, в склад яких входить окис вуглецю.

Таким чином, для запобігання появи можливих чинників травмонезбезпечних ситуацій під час польових робіт, особливо при викоРистанні ґрунтообробних машин з активними робочими органами, потрібно враховувати вплив небезпечних чинників - обертових частин (валів, карданних передач, гострих ножів ротора), вібрації, запилення робочого місця тощо.

**Електробезпека.** Заходи щодо безпечного виконання робіт на електричних установках поділяють:

- організаційні: призначення відповідальних осіб, оформлення наряду на виконання робіт, перевірка кваліфікації, наявність посвідчення, організація нагляду за проведенням робіт, оформлення документації після завершення робіт тощо;

- технічні: викоРистання електрозахисних засобів, огороження робочого місця, встановлення знаків безпеки, контроль ізоляції, захисне зелення, занулення, подвійна ізоляція, захисне відмикання, вирівнювання електричних потенціалів тощо.

Відповідно до правил влаштування електроустановок від ураження струмом людей і сільськогосподарських тварин при дотиканні до струмопровідних частин основні вимоги до електроустановок такі: захист надійною електричною ізоляцією струмопровідних частин, недоступність для випадкового дотику до них, автоматична сигналізація про небезпеку дотику до струмопровідних частин або наближення до них на недопустиму віддаль, попереджуюча сигналізація, написи і плакати, захисні засоби і пристрої.

Жодний з наведених засобів не може окремо гарантувати безпеки при дотиканні, тому в кожному конкретному випадку для створення безпечних умов експлуатації електроустановок застосовують комплекс таких засобів.

Недоступність струмопровідних частин обладнання досягається спеціальними огороженнями струмопровідних частин, встановленням їх на недоступній для людей висоті і застосуванням блокувальних пристроїв. Сигнальні пристрої сповіщають людину про наближення до електричної установки напругою 380 В на відстань 1 м. Виготовлені у вигляді малогабаритних приладів сигналізатори прикріплюють до спецодягу або монтуються на захисному шоломі.

За призначенням усі захисні засоби поділяються на групи: ізолюючі, додаткові від дії світлового випромінювання і електричної дуги, запобіжні від падіння з висоти і огорожуючі та інші.

#### **4.2. Умови і обставини виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідки**

У цьому пункті потрібно відповідно до теми роботи охарактеризувати особливості умов та обставин виникнення небезпечних ситуацій з врахуванням наступних обґрунтувань. Кожний небезпечний чинник незалежно від його виду, рівня та інших властивостей має певну зону своєї дії. Якщо розміри цієї зони мають чітко фіксовані значення то її можна вважати постійною. Якщо в процесі роботи така зона може змінюватись в наслідок зміни рівня небезпечного чинника, його переміщень у просторі, то вона - змінна [1-2].

У деяких випадках (під час аварійних ситуацій) небезпечний виробничий чинник може значно виходити за межі визначеної (фіксованої) зони. При цьому небезпека травмування працюючого виникає уже за межами небезпечної зони, що була встановлена заздалегідь. Ось чому кожен працюючий на конкретній машині чи на певному робочому місці повинен добре знати про таку небезпеку.

Загалом, працюючий, допускаючи небезпечну дію (НД), потрапляє у небезпечні обставини (НО), за яких на нього може діяти небезпечний чинник (НФ) за небезпечних умов (НУ). Так створюється інша подія, що має назву небезпечної ситуації (НС).

Усі явища, що формують небезпечну ситуацію, мають певну достовірність виникнення, тобто небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні ситуації (НС), а також наслідки таких ситуацій: аварія (А), травма (Т) та сприятлива подія належать до випадкових явищ.

Аналіз процесів формування та виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій під час виконання робіт у рослинництві, зокрема польових ґрунтообробних робіт, здійснюється на основі таблиці, яка містить відомості про виробничі небезпеки (небезпечні умови, дії, ситуації), можливі наслідки та заходи запобігання небезпечним ситуаціям за видами робіт, виробничих підрозділів, робочих місць, складу агрегату.

Після кожного описання наводиться графічна схема – модель процесу можливого виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків. Основною метою такої схеми окреслення процесів формування і виникнення травмонебезпечних ситуацій, аварій є встановлення найбільш небезпечних ділянок, а також розробка заходів щодо запобігання НС.

Найбільш поширеними заходами запобігання процесам формування та виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій є перевірка безпечності техніки, оснащення машини засобами безпеки, проведення інструктажів з охорони праці.

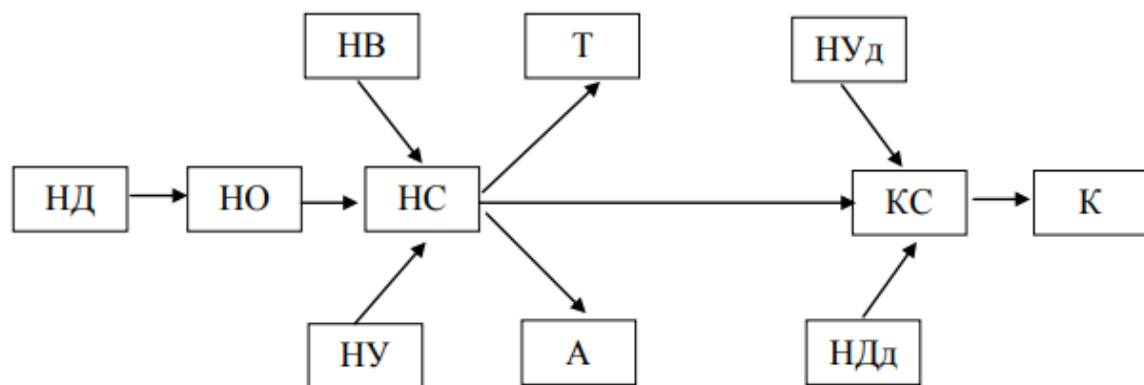


Рисунок. 4.1. Блок-схема процесу формування та виникнення небезпечних, аварійних та катастрофічних ситуацій: НВФ - небезпечний виробничий фактор; НУ - небезпечні умови; НД - небезпечні дії; НО - небезпечні обставини; НС - небезпечна ситуація; А - аварія; Т - травма, КС - критична ситуація; НУД - небезпечні умови додаткові; НДд - небезпечні дії додаткові; К — катастрофа.

На схемі видно, що працюючий, допускаючи небезпечну дію (НД) потрапляє у небезпечні обставини (НО), за яких на нього може діяти небезпечний фактор (НВФ) при небезпечній умові (НУ). Так створюється інша

подія, що має назву небезпечної ситуації (НС). Усі явища, що формують небезпечну ситуацію мають певну достовірність виникнення, а це означає, що небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні ситуації (НС) і наслідки таких ситуацій: аварія (А), травма (Т) і сприятлива подія (подія без аварії і травм) належать до випадкових явищ.

Наприклад. При експлуатації виробничого обладнання виникла одна небезпечна умова (НУ1). Вона стала причиною виникнення іншої небезпечної умови (НУ2), яка, в свою чергу, здатна викликати наступну небезпечну умову (НУ3), і так далі, до виникнення небезпечної ситуації (НС), наслідком якої може бути аварія (А) або/і травма (Т). Описаний потік подій можна чекати при експлуатації виробничого обладнання. Наприклад, внаслідок конструктивного недоліку незбалансований ротор (НУ1) може викликати появу вібрації (НУ2), яка, в свою чергу, призведе до підвищеного спрацювання підшипників (НУ3), і так далі, до виникнення аварійної ситуації (руйнування підшипників і викидання частин ротора внаслідок його руйнування (НС).

Аналогічний потік небезпечних подій спостерігається при експлуатації заточувальних верстатів та іншого обладнання. Загальний вигляд описаного потоку випадкових небезпечних подій такий:

$$\text{НУ1} \rightarrow \text{НУ2} \rightarrow \text{НУ3} \rightarrow \dots \rightarrow \text{НС} \rightarrow \text{А, Т.}$$

Існуюча небезпечна умова (або така, що може виникнути) (НУ) може спонукати працюючого до допущення ним помилок у процесі роботи або інших небезпечних дій (НД), внаслідок чого виникне небезпечна ситуація (НС). Потік подій і залежність між ними у цьому випадку можна зобразити у вигляді:

$$\text{НУ} \rightarrow \text{НД} \rightarrow \text{НС} \rightarrow \text{А, Т.}$$

За такою схемою небезпечні події можуть траплятися у тих випадках, коли небезпечною умовою є конструктивний недолік машини або іншого виробничого обладнання. Наприклад, зупинка робочих органів машини (НУ) призведе до втручання людини в її роботу з метою його усунення. При цьому можуть бути порушені певні вимоги безпеки (двигун або сама машина не зупинені, хоч цього вимагають правила). Такі дії є небезпечними (НД), хоч виникли вони саме через конструктивні недоліки. У таких випадках небезпечна умова може бути ліквідована не шляхом навчання людини правилам безпеки, а розробкою і встановленням спеціального механізму для самоочищення робочих органів - різних дозаторів, норій, транспортерів тощо. В умовах виробництва можливі такі випадки, коли одна допущена помилка

працюючого (оператора) може потребувати вжиття швидких заходів (швидких 8 дій), а якщо знову буде допущена помилка, це призведе до виникнення небезпечної ситуації.

Схема потоку випадкових подій має вигляд:

$$\text{НД1} \rightarrow \text{НД2} \rightarrow \text{НС} \rightarrow \text{А, Т.}$$

або

$$\text{НД1} \rightarrow \text{НД2} \rightarrow \text{НД3} \rightarrow \text{НС} \rightarrow \text{А, Т.}$$

На схемі видно, що наслідками таких подій може бути аварія і/або травма. Прикладом виникнення потоку таких подій є робота транспортного засобу. Допущена водієм перша помилка — перевищення допустимої швидкості руху (НД1), може викликати різке гальмування (НД2), внаслідок чого виникає занос транспортного засобу та його перекидання (НС). При цьому може бути пошкоджений транспортний засіб (А) і/або травмований водій (Т).

### 4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Закон “Про цивільну оборону України” визначає надзвичайну ситуацію як порушення нормальних умов життя та діяльності людей на об’єкті чи території, спричинених аварією, катастрофою, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, великою пожежею, викривлення засобів ураження, що призвели чи можуть призвести до людських чи матеріальних втрат.

Аварія – це небезпечна подія техногенного характеру, що створює на об’єкті, території або акваторії загрозу для життя і здоров’я людей і призводить до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу чи завдає шкоди довкіллю.

Катастрофа – це раптове лихо чи велика подія, яка тягне за собою тяжкі наслідки для людини, тваринного чи рослинного світу, змінюючи умови середовища існування. Це результат різкого чи стрибкоподібного переходу природного, біологічного чи соціально-економічного середовища з виникненням уражаючих факторів, які наносять значну шкоду соціальним і природним системам. Іноді, підкреслюючи всесвітній характер катастрофи, її називають катаклізмом. Залежно від масштабності та тривалості впливу на природне середовище, катастрофи розділяють на локальні, регіональні та

глобальні. Прикладами глобальних катастроф можуть служити особливо тяжкі аварії, військові конфлікти, різні стихійні лиха, що заподіюють велику шкоду.

В Україні щороку виникають тисячі надзвичайно складних ситуацій природного та техногенного характеру, внаслідок яких гине велика кількість людей, а матеріальні збитки сягають кількох мільярдів гривень. Сьогоднішня ситуація в Україні щодо небезпечних природних явищ, аварій і катастроф характеризується як дуже складна. Тенденція зростання кількості природних і особливо техногенних НС, складність цих наслідків змушують розглядати їх як серйозну загрозу безпеці окремої людини, суспільству та навколишньому середовищу, а також стабільності розвитку економіки країни. Для роботи в районі надзвичайної ситуації потрібно залучати значну кількість людських, матеріальних і технічних ресурсів.

Постановою Кабінету Міністрів України № 1099 “Про порядок класифікації надзвичайних ситуацій” затверджено “Положення про класифікацію надзвичайних ситуацій”. Згідно з цим положенням, за характером походження подій, що зумовлюють виникнення надзвичайних ситуацій на території України, розрізняють 4 класи надзвичайних ситуацій: техногенного, природного, соціально-політичного та військового характеру. Кожен клас надзвичайних ситуацій поділяється на групи, які містять конкретні їх види.

Надзвичайні ситуації техногенного характеру – це наслідок транспортних аварій, катастроф, пожеж, неспровокованих вибухів чи їх загроза, аварій з викидом (загрозою викиду) небезпечних хімічних, радіоактивних, біологічних речовин, раптового руйнування споруд та будівель, аварій на інженерних мережах і спорудах життєзабезпечення, гідродинамічних аварій на греблях, дамбах тощо.

Надзвичайні ситуації природного характеру – це наслідки небезпечних геологічних, метеорологічних, гідрологічних, морських та прісноводних явищ, деградації ґрунтів чи надр, природних пожеж, змін стану повітряного басейну, інфекційних захворювань людей, сільськогосподарських тварин, масового ураження сільськогосподарських рослин хворобами чи шкідниками, зміни стану водних ресурсів та біосфери тощо.

Надзвичайні ситуації соціально-політичного характеру – це ситуації, пов’язані з протиправними діями терористичного та антиконституційного спрямування: здійснення або реальна загроза терористичного акту (збройний напад, захоплення і затримання важливих об’єктів ядерних установок і матеріалів, систем зв’язку та телекомунікації, напад чи замах на екіпаж

повітряного чи морського судна), викрадення (спроба викрадення) чи знищення суден, встановлення вибухових пристроїв у громадських місцях, викрадення зброї, виявлення застарілих боєприпасів тощо.

Надзвичайні ситуації воєнного характеру – це ситуації, пов'язані з наслідками застосування зброї масового ураження або звичайних засобів ураження, під час яких виникають вторинні фактори ураження населення внаслідок зруйнування атомних і гідроелектричних станцій, складів і сховищ радіоактивних і токсичних речовин та відходів, нафтопродуктів, вибухівки, сильнодіючих отруйних речовин, токсичних відходів, транспортних та інженерних комунікацій.

Залежно від територіального поширення, обсягів, заподіяних або очікуваних економічних збитків, кількості людей, які загинули, розрізняють 4 рівні надзвичайних ситуацій – загальнодержавний, регіональний, місцевий та об'єктовий.

Надзвичайна ситуація загальнодержавного рівня – це надзвичайна ситуація, яка розвивається на території двох та більше областей (Автономної республіки Крим, міст Києва та Севастополя) або загрожує транскордонним перенесенням, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріали і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості окремої області (Автономної республіки Крим, міст Києва та Севастополя), але не менше 1 % обсягів видатків відповідного бюджету.

Надзвичайна ситуація регіонального рівня – це надзвичайна ситуація, яка розвивається на території двох або більше адміністративних районів (міст обласного значення), Автономної республіки Крим, областей, міст Києва та Севастополя або загрожує перенесенням на територію суміжної області, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості окремого району, але не менше 1 % обсягів видатків відповідного бюджету.

Надзвичайні ситуації місцевого рівня – це надзвичайна ситуація, яка виходить за межі потенційно-небезпечного об'єкта, загрожує поширенням самої ситуації або її вторинних наслідків на довкілля, сусідні населені пункти, інженерні споруди, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості об'єкта. До місцевого рівня також належать всі НС, які виникають на об'єктах житлово-комунальної сфери та інших, що не входять до затверджених переліків потенційно-небезпечних об'єктів.



Надзвичайна ситуація об'єктового рівня – це НС, яка не підпадає під зазначені вище визначення, тобто така, що розгор-тається на території об'єкта або на самому об'єкті, її наслідки не виходять за межі об'єкта або його санітарно-захисної зони.

#### Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій

Найбільш ефективний засіб зменшення шкоди та збитків, які несе суспільство, держава і кожна окрема особа в результаті НС, – запобігати їх виникненню, а в разі виникнення проводити заходи, адекватні ситуації, що склалася.

Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій – це підготовка та реалізація комплексу правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на регулювання безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення НС на основі даних моніторингу (спостережень), експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій із метою недопущення їх переростання у НС або пом'якшення її можливих наслідків.

Зазначені функції запобігання щодо НС техногенного та природного характеру в нашій країні виконує Єдина державна система запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру, положення про яку затверджено Постановою Кабінету Міністрів України № 1198.

Єдина державна система запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру (ЄДСЗР) включає в себе центральні та місцеві органи виконавчої влади, виконавчі органи рад, державні підприємства, установи та організації з відповідними силами і засобами, які здійснюють нагляд за забезпеченням техногенної та природної безпеки, організують проведення роботи із запобігання НС техногенного та природного походження і реагування у разі їх виникнення з метою захисту населення і довкілля, зменшення матеріальних втрат.

Основною метою створення ЄДСЗР є забезпечення реалізації державної політики у сфері запобігання і реагування на НС, забезпечення цивільного захисту населення.

Завданнями ЄДСЗР є:

- розробка нормативно-правових актів, а також норм, правил та стандартів із питань запобігання надзвичайним ситуаціям та забезпечення захисту населення і територій від їх наслідків;

- забезпечення готовності центральних та місцевих органів виконавчої влади, виконавчих органів рад, підпорядкованих їм сил і засобів до дій, спрямованих на запобігання і реагування на НС;

- забезпечення реалізації заходів щодо запобігання виникненню НС;

- навчання населення щодо поведінки та дій у разі виникнення НС;

- виконання цільових і науково-технічних програм, спрямованих на запобігання НС, забезпечення сталого функціонування підприємств, установ та організацій, зменшення можливих матеріальних втрат;

- збирання й аналітичне опрацювання інформації про НС, видання інформаційних матеріалів з питань захисту населення і територій від наслідків НС;

- прогнозування й оцінка соціально-економічних наслідків НС, визначення на основі прогнозу потреби в силах, засобах, матеріальних та фінансових ресурсах;

- створення, раціональне збереження і використання резерву матеріальних та фінансових ресурсів, необхідних для запобігання і реагування на НС.

Згідно із Законом “Про цивільну оборону України” “громадяни України мають право на захист свого життя і здоров’я від наслідків аварій, катастроф, значних пожеж, стихійного лиха і ви-магати від Уряду України, інших органів державної виконавчої влади, адміністрацій підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності і господарювання гарантій щодо його реалізації.

Держава як гарант цього права створює систему цивільної оборони, ставить за мету захист населення від небезпечних наслідків аварій і катастроф техногенного, екологічного, природного та воєнного характеру”.

Головною функцією органів державної виконавчої влади, адміністрацій підприємств, установ і організацій, незалежно від форм власності та господарювання, у разі виникнення НС, є захист населення та організація його життєзабезпечення.

Заходи щодо захисту населення плануються та проводяться по всіх районах, населених пунктах, охоплюють усе населення. У той же час характер

та зміст захисних засобів встановлюється залежно від ступеня загрози, місцевих умов із урахуванням важливості виробництва для безпеки населення, інших економічних та соціальних чинників. З цією метою міста розподіляються за групами важливості, а об'єкти – за категоріями стосовно засобів захисту населення у разі надзвичайної ситуації. Цей розподіл здійснює Кабінет Міністрів України.

Для міст встановлені наступні групи:

- особливої важливості;
- першої групи;
- другої групи;
- третьої групи.

Для підприємств та організацій встановлені наступні категорії:

- особливої важливості;
- першої категорії;
- другої категорії.

Основні заходи щодо захисту населення плануються та здійснюються завчасно і мають випереджувальний характер. Це стосується, перш за все, підготовки, підтримання у постійній готовності індивідуальних та колективних засобів захисту, їх накопичення, а також підготовки до проведення евакуації населення із зон підвищеного ризику.

Організація життєзабезпечення населення в умовах надзвичайних ситуацій є комплексом заходів, спрямованих на створення і підтримання нормальних умов життя, здоров'я і працездатності людей.

Він включає:

- управління діяльністю робітників та службовців, усього населення при загрозі та виникненні надзвичайних ситуацій;
- захист населення та територій від наслідків аварій, катастроф, стихійного лиха;
- забезпечення населення питною водою, продовольчими товарами і предметами першої необхідності;

- захист продовольства, харчової сировини, фуражу, вододжерел від радіаційного, хімічного та біологічного зараження (забруднення);
- житлове забезпечення і працевлаштування;
- комунально-побутове обслуговування;
- медичне обслуговування;
- навчання населення способам захисту і діям в умовах надзвичайних ситуацій;
- розробку і своєчасне введення режимів діяльності в умовах радіаційного, хімічного та біологічного зараження;
- санітарну обробку;
- знезараження території, споруд, транспортних засобів, обладнання, сировини, матеріалів і готової продукції;
- підготовка сил та засобів і ведення рятувальних і інших невідкладних робіт у районах лиха й осередках ураження;
- забезпечення населення інформацією про характер і рівень небезпеки, порядок поведінки; морально-психологічну підготовку і заходи щодо підтримування високої психологічної стійкості людей в екстремальних умовах;
- заходи, спрямовані на попередження, запобігання або послаблення несприятливих для людей екологічних наслідків надзвичайних ситуацій та інші заходи.

Усі ці заходи організовуються державною виконавчою владою, органами управління цивільної оборони при чіткому погодженні між ними заходів, що проводяться. Керівники підприємств, установ і організацій є безпосередніми виконавцями цих заходів. Заходи розробляються завчасно, відображаються у планах цивільної оборони і виконуються в період загрози та після виникнення надзвичайної ситуації.

З метою недопущення гибелі людей, забезпечення їх нормальної життєдіяльності у надзвичайні ситуації передусім повинно бути проведено сповіщення населення про можливу загрозу, а якщо необхідно, – організовано евакуацію.

Ліквідація наслідків надзвичайної ситуації проводиться з метою відновлення роботи підприємства організації, навчальних закладів тощо. Вона включає:

- розвідку осередків надзвичайних ситуацій;
- аварійно-рятувальні й лікувально-евакуаційні заходи;
- локалізацію й гасіння пожеж;
- відбудову споруд і шляхів сполучення;
- проведення ізоляційно-обмежувальних заходів в осередках біологічного зараження;
- проведення спеціальної обробки населення;
- дезактивації, дегазації техніки, доріг, місцевості тощо.

## Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування вибору обладнання для виробництва деталі

Розглянемо два можливі способи виготовлення корпусної деталі для порівняння: на універсальному фрезерному вертикальному верстаті 6P12 та на верстаті з ЧПК НААС (аналог 6 P13 Ф3).

Порівняння різних методів обробки можна здійснити, орієнтуючись на вартість виробництва.

$$C_o = \frac{(C_{nz} \cdot T_{шт.к.})}{60 \cdot K_6}, \text{ коп.}, \quad (5.1)$$

де  $C_{nz}$  - витрати часу, коп/год,

$T_{шт.к.}$  - калькуляційний час виконання технологічної операції, хв,

$K_6$  - коеф. виконання норми,  $K_6 = 1.3$ .

$$C_{nz} = C_z + C_{чз} + E_n (K_c + K_z), \quad (5.2)$$

де  $C_z$  - зарплата робітника, основна і додаткова з додатковими нарахуваннями, коп/год.

$$C_z = \varepsilon \cdot C_{тф} \cdot \kappa \cdot y, \quad (5.3)$$

де  $\varepsilon$  - коеф., який враховує додаткову зарплату робітника,  $\varepsilon = 1.5$ ;

$C_{тф}$  - тарифна ставка відповідного розряду за годину роботи. За 4 розряду  $C_{тф} = 3024$  коп/год.

$\kappa$  - коеф. заробітної плати налагоджувальника верстата,  $\kappa = 1$ ;

$y$  - коеф., що враховує оплату праці оператора під час обслуговування кількох верстатів, тоді для універсального верстата 6P12  $y = 1$ , а для верстата з ЧПК НААС (аналог 6P13Ф3)  $y = 0.65$ .

$C_{чз}$  - затрати часу зміни на експлуатацію робочого місця, коп/год,

$$C_{чз} = C_{чз}^{\delta_n} \cdot k_m \quad (5.4)$$

де  $C_{чз}^{\delta_n}$  - затрати часу зміни на базовому рівні,  $C_{чз}^{\delta_n} = 2850$  коп/год.,

$k_m$  - коеф., який вказує у скільки раз витрати на роботу цього верстата більші, ніж витрати у верстата взятого за базовий,

- для верстата 6 Р 12 -  $k_m = 1.3$ ;
- для верстата HAAS (аналог 6 Р13 Ф3) -  $k_m = 2.5$ .

$E_H$  – коеф. ефективності використання,  $E_H = 0,15$ ;

$K_c, K_3$  – капітальні вкладення у верстат та будівлю для налагодження виробництва.

Капітальні грошові вкладення на верстат:

$$K_c = \frac{Ц \cdot 100}{F_g \cdot \eta_3} \quad (5.5)$$

де  $Ц$  – вартість верстата із затратами на транспортування, грн,

$Ц1 = 450000$  грн,  $Ц2 = 960000$  грн,

$F_g$  - річний фонд роботи верстата в рік,  $F_g = 3987$  год.,  $\eta_3 = 0,8$ .

Грошові капітальні вкладення в будівлю для налагодження виробництва:

$$K_3 = \frac{F \cdot H \cdot 100}{F_g \cdot \eta_3} \quad (5.6)$$

де  $H$  - вартість 1 м<sup>2</sup> виробничої площі, грн ,  $H = 2100$  грн/м<sup>2</sup>.

$F$  – площа яку займає верстат,  $F_1 = 11.0$  м<sup>2</sup>,  $F_2 = 15.0$  м<sup>2</sup>.

Таблиця 5.1

### Результати порівняння виробництва деталі на верстатах

6 Р12	HAAS (аналог 6 Р13 Ф3)
1	2
зарплата працівника, яка включає основні та додаткові нарахування, разом із всіма доплатами	
$C_{з1} = \varepsilon \cdot C_{мп} \cdot \kappa \cdot y = 1,5 \cdot 3024 \cdot 1 \cdot 1 = 4536 \text{ коп. / год}$	$C_{з2} = 1,5 \cdot 3024 \cdot 1 \cdot 0,65 = 2948,4 \text{ коп. / год}$
затрати часу на організацію робочого місця	
$C_{ч1} = C_{чз}^{\delta_n} \cdot k_m = 2850 \cdot 1,3 = 3705 \text{ коп. / год}$	$C_{ч2} = 2850 \cdot 2,5 = 7125 \text{ коп. / год}$

Капітальні грошові вкладення на верстат	
$K_{c1} = \frac{450000 \cdot 100}{3987 \cdot 0,8} = 14108,4 \text{ коп. / год}$	$K_{c2} = \frac{960000 \cdot 100}{3987 \cdot 0,8} = 30097,8 \text{ коп. / год}$
Капітальні грошові вкладення в будівлю для виробництва	
$K_{з1} = \frac{11 \cdot 2100 \cdot 100}{3987 \cdot 0,8} = 724,2 \text{ коп. / год}$	$K_{з2} = \frac{15 \cdot 2100 \cdot 100}{3987 \cdot 0,8} = 987,6 \text{ коп. / год}$
Затрати часу під час виробництва корпусної деталі	
$C_{пз1} = 4536 + 3705 + 0,15 \cdot (14108,4 + 724,2)$ $= 10465,89 \text{ коп. / год}$	$C_{пз2} = 2948,4 + 7125 + 0,15 \cdot (30097,8 + 987,6)$ $= 14736,21 \text{ коп. / год}$
Час штучно-калькуляційний виконання технологічних операції виготовлення деталі	
$T_{ум.к.1} = 4,785 \text{ хв.}$	$T_{ум.к.2} = T_{ум.к.1} \cdot 0,65 = 4,785 \cdot 0,65 = 3,11 \text{ хв.}$
Собівартість виробництва корпусної деталі	
$C_{o1} = \frac{(C_{пз} \cdot T_{ум.к.})}{60 \cdot K_g} = \frac{10465,89 \cdot 4,785}{60 \cdot 1,3} = 642,04 \text{ коп.}$	$C_{o2} = \frac{14736,21 \cdot 3,11}{60 \cdot 1,3} = 587,6 \text{ коп.}$

Згідно з проведеними розрахунками, виявляється, що вигідніше виробляти дану деталь на верстаті з ЧПК НААС (аналог 6 Р 13 Ф 3).

Річна економія за виготовлення 1000 корпусних деталей:

$$E_T = \frac{(C_{o1} - C_{o2}) \cdot N}{100} = \frac{(529,04 - 509,25) \cdot 1000}{100} = 197,92 \text{ грн.} \quad (5.7)$$

Для досягнення більш точних результатів та зниження вартості при впровадженні розробленої моделі поліпшення якості обробки на верстаті з ЧПК, проводиться аналіз усіх факторів, що впливають на витрати. Ці фактори можуть включати: вибір матеріалів; вибраний технологічний процес; вибране енергозабезпечення; працездатність обладнання; управління відходами; якість продукції яка випускається.



## Висновки та пропозиції

1. Досліджено ключові показники ефективності виробництва деталей за допомогою верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). Виявлено, що ефективність використання програмного керування верстатом напряду залежить від концентрації та складності процесу виготовлення деталі на даному верстаті.

2. Розроблено функціональну схему управління верстатом з числовим програмним керуванням (ЧПК). Також визначено послідовність програмування управляючого коду для забезпечення технологічно правильного процесу виготовлення деталей і заготовок на верстатах з ЧПК.

3. Розроблена модель виробництва виробів на верстатах з числовим програмним керуванням, спрямована на досягнення високої якості продукції. Ця модель розрахована на забезпечення дотримання визначеного періоду максимальної стійкості металорізального інструменту.

4. Розроблені методи забезпечення високої якості виготовлення деталей на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК). Ці шляхи дозволяють досягти необхідного рівня якості обробки деталей на ЧПК-верстатах.

5. Сформовано методику, яка включає в себе ключову інформацію про виробничий процес виготовлення деталей на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК). Запропоновані методи не лише ефективно оптимізують продуктивність виготовлення деталей, а й виявляються ефективними засобами підвищення ефективності процесу в багатоопераційному режимі обслуговування верстатів.

6. Визначені чинники, що сприяють зниженню втрат під час виробництва деталей на верстатах з числовим програмним управлінням (ЧПК), та значно підвищують продуктивність цього процесу.

### Бібліографічний список

1. Бочков В.М., Сілін Р.І. Обладнання автоматизованого виробництва. Вид.ДУ «Львівська політехніка», 2000.- 380 с.
2. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко В. Металорізальні верстати : Навчальний посібник.- Львів : Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2015.- 405 с.
3. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко В. Металорізальні верстати : Навчальний посібник.- Львів : Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2009.- 268 с.
4. Булей І. А. Проектування підприємств з виробництва і ремонту сільськогосподарських машин. – К.: Вища школа, 1993. – 288с.
5. Бутко Д.А., Лущенков В.Л., Лехман С.Д. Практикум з охорони праці. – К.: Урожай, 1995. – 144 с.
6. Гайворонський, В. А. Програмування автоматизованого обладнання. Технологічні основи обробки корпусних деталей : навчальний посібник // В. А. Гайворонський. – К. : Кондор, 2007. – 290с. – ISBN 978-966- 8251-85-6.
7. Гряник Т.М. та ін. Охорона праці. – К.: Урожай, 1997. – 272 с.
8. Губський А.І. Цивільна оборона, К: Міністерство освіти, 1996, 216с.
9. Депутат О. П., Коваленко І. В., Мужик І. С. Цивільна оборона. – Львів. : Афіша, 2001. – 236 с.
10. Іванченко Ф.К. Підйомно-транспортні машини. – К.: Вища школа, 1993.- 413 с.
11. Когут М.С. Механоскладальні цехи та дільниці у машинобудуванні. Підручник. – Львів: Львівська політехніка, 2000. – 352с.
12. Конструктивні особливості та основи програмування верстатів з числовим програмним керуванням Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В.  
([https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/36433/1/IOAV\\_verstaty\\_ChPK.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/36433/1/IOAV_verstaty_ChPK.pdf)).
13. Маслак О. І. Економіка промислового підприємства навч. посіб. / О. І. Маслак, Л. Д. Воробйова. — К. : ЦУЛ, 2016. — 172 с.

14. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: [підручник для студ. вищ. навч. закл.] / В. В. Попович, В. В. Попович. — Львів: Світ, 2006. — 624 с.

15. Правила пожежної безпеки в Україні / Укр. НДПБ МВС України. — Київ: “Укрархбудінформ”, 1995. — 197 с.

16. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін.; За ред. М. А. Сологуба. — 2-ге вид., перероб. і допов. — К.: Вища школа, 2002. — 374 с.

17. Основи методології та організації наукових досліджень : навч. Посібник для студентів, курсантів, аспірантів і ад’ютантів ; за ред.. А. Є. Конверського. — К. : Центр учбової літератури, 2010. — 352 с.

18. Системи автоматизованого програмування верстатів з ЧПК : навчальний посібник / С. Л. Міранцов, В. І. Тулупов, С. Г. Онищук, Ю. Б. Борисенко, Є. В. Мішура, О. С. Ковалевська — Краматорськ : ДДМА, 2011. — 152 с. ISBN 978-966-379-549-2.